

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra hodnocení textilií

Obor: Textilní marketing



**HODNOCENÍ ZMĚNY STRUKTURY POVRCHU
NANOVLÁKENNÝCH MEMBRÁN BĚHEM PRACÍCH
CYKLŮ**

**EVALUATION OF CHANGE IN STRUCTURE OF
NANOFIBRE MEMBRANE SURFACE DURING
WASHING CYCLES**

Autor bakalářské práce: Jan Modrák

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lenka Techniková

Počet stran: 45

Počet příloh: 2

Počet obrázků: 15

Počet tabulek: 18

Datum: 5. května 2012

P r o h l á š e n í

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 5. května 2012

Podpis:

Zadání bakalářské práce.

(vložit originál)

PODĚKOVÁNÍ

Touto formou bych chtěl poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Technikové za věnovaný čas, cenné rady a užitečné připomínky.

Anotace

V bakalářské práci byla testována efektivita navržené metody hodnocení změn povrchové drsnosti nanovlákných vrstev během pracích cyklů. Pro testování byla vybrána sada třech vzorků nanovlákných vrstev s různými stupni úprav. Testování změn povrchové drsnosti nanovlákných vrstev probíhalo na základě testu v odolnosti vzorků při praní. Povrchy vzorků byly snímány za pomoci přístroje TALYSURF CLI 500. Hodnocení změn povrchové drsnosti vzorků probíhalo na základě sledování parametrů povrchových charakteristik a změn jejich hodnot v závislosti na pracích cyklech. Z výsledků vyplývá, že daná metoda hodnocení povrchu není vhodná k detekci změn povrchové drsnosti nanovlákných vrstev v závislosti na pracích cyklech, jelikož podává nevypovídající hodnoty. Výsledné hodnoty sledovaných parametrů povrchových charakteristik pro všechny vzorky byly neuspořádané a nebylo tak možné na jejich základě určit trend ve změně povrchové drsnosti nanovlákných vrstev v závislosti na pracích cyklech.

Annotation

In this thesis was tested efficiency of proposed method of nanofibre layer surface roughness evaluation. Set of three nanofibre layers with different levels of finishing was selected for testing. Testing was conducted on base of test in specimen's resistance during washing cycles. Specimen's surfaces were captured using TALYSURF CLI 500. Evaluation of surface roughness changes was based on observation of surface characteristics parameters and changes in their values in dependence on washing cycles. The results implies, that given method of surface roughness evaluation is not suitable for detecting changes in nanofibre layer surface, because it provides uninformative values. The resulting values of observed surface characteristics parameters were disordered and thus not providing trend of change in nanofibre layer surface roughness in dependence on washing cycles.

Klíčová slova:

Nanovlákná vrstva, povrch, povrchová drsnost, parametry povrchu, 2D povrch, 3D povrch, hodnocení povrchu.

Key words:

Nanofibre layer, surface, surface roughness, surface parameters, 2D surface, 3D surface, surface evaluation.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek	5
1 Úvod	6
2 Teorie	7
2.1 Membrány.....	7
2.1.1 Rozdělení membrán podle principu práce.....	7
2.1.2 Rozdělení membrán podle spojení s nosnou textilií.....	8
2.2 Elektrostatické zvlákňování nanovláken	9
2.3 Drsnost povrchu	10
2.4 TALYSURF CLI 500.....	13
2.5 TALYMAP	14
2.6 Povrchové charakteristiky.....	15
2.7 Souhrn současného stavu	17
3 Experimentální část.....	19
3.1 Sada vzorků	19
3.2 Parametry snímání povrchu	21
3.3 Popis experimentu	21
3.4 Postup experimentu.....	21
3.5 Metoda hodnocení změn povrchu.....	22
4 Výsledky změn povrchu.....	23
4.1 Vzorek 1 - výsledky.....	23
4.1.1 Hodnocení výsledků povrchových charakteristik pro vzorek 1.....	27
4.2 Vzorek 2 - výsledky.....	29
4.2.1 Hodnocení výsledků povrchových charakteristik pro vzorek 2.....	33
4.3 Vzorek 3 - výsledky.....	35
4.3.1 Hodnocení výsledků povrchových charakteristik pro vzorek 3.....	39
5 Závěr.....	41
6 Literatura.....	43
Seznam příloh.....	45

Seznam použitých symbolů a zkratk

$3D$	Troj - rozměrný
$2D$	Dvou - rozměrný
Ret	Stupeň paropropustnosti
Pa	Pascal, jednotka tlaku
W	Watt, jednotka výkonu
nm	Nanometr = 10^{-9} m
m	Střední čára profilu
l	Základní délka
λ_v	Mezní rozteč
CLA	Chromatic Lenght Aberration
CCD	Charge-Coupled Device
Sq	Root mean square height – střední kvadratická odchylka
Ssk	Skewness - šikmost
Sku	Kurtosis - špičatost
Sp	Maximum peak height – maximální výška vrcholu
Sv	Maximum pit height – maximální hloubka prohlubně
Sz	Maximum height – maximální výška
Sa	Arithmethical mean height – aritmetická průměrná výška
Sal	Auto-correlation length – autokorelační délka
Str	Texture-aspect ratio – poměrový aspekt textury
Std	Texture direction – směr textury
$Vm(p)$	Material volume – objem hmoty
$Vv(p)$	Void volume – objem prázdnoty
Vmp	Peak material volume of the scale limited surface – objem materiálu vrcholku
Vmc	Core material volume of the scale limited surface – objem materiálu v jádře
Vvc	Core void volume of the scale limited surface – objem prázdnoty v jádře
Vvv	Pit void volume of the scale limited surface – objem prázdnoty v prohlubni
St	Total height of the surface – totální výška povrchu
Smr	Material volume ratio – poměr objemu hmoty
Sdc	Material volume height difference – výškový rozdíl objemu hmoty
$FLTt$	Peak to valley flatness deviation of the surface – povrchová odchylka hladkosti vrcholu do prohlubně
$FLTp$	Peak to reference flatness deviation – odchylka hladkosti vrcholu k referenci
$FLTv$	Reference to valley flatness deviation – odchylka hladkosti reference k prohlubni
$FLTq$	Root mean square flatness deviation – střední kvadratická odchylka hladkosti
X, Y, Z	Souřadnice

1 Úvod

Textilní membrána představuje tenkou vláknennou vrstvu polymerního materiálu, která se pojí k nosné textilií či pouze vkládá mezi dvě další textilie. Její funkcí je zamezit prostupu větších částic dovnitř oděvu a zároveň umožnit prostupu menších částic ven z oděvu. Membrány se v textilním průmyslu využívají, mimo jiné, v outdoorovém oblečení, kde je jejich funkcí zamezit prostupu vody zvenčí a zároveň umožnit propuštění vodních par z vnitřku oděvu. Díky tomu oděv lépe odolává nepříznivým klimatickým podmínkám, jako je déšť a zároveň zůstává komfortní pro nositele, jelikož se uvnitř nekumulují tělesné páry. Speciálně nanovláknenné vrstvy umožňují zefektivnit tuto funkci membrán, jelikož díky nano průměrům vláken je možné vytvořit dokonalejší strukturu.

Během nošení a údržby, zejména při praní, dochází časem ke změně povrchu materiálů. Povrch je charakterizován svojí makro geometrií, představující tvar a vlnitost a mikro geometrií, udávající drsnost. Povrchová drsnost se dále dá charakterizovat jako souhrn nerovností povrchu s relativně malými horizontálními vzdálenostmi. Povrchová drsnost se všeobecně měří metodami dotykovými či bezdotykovými. Hodnocení povrchu lze provádět na základě profilu povrchu nebo pomocí 3D modelu, který se skládá z jednotlivých profilů. Pro hodnocení změn povrchové drsnosti je vhodnější právě metoda získání obrazu povrchu v 3D, která podává více informací o povrchu.

Cílem této práce je sledovat změny povrchové drsnosti nanovláknenné vrstvy při testu odolnosti materiálu v praní pomocí navržené metody. Dále se bude zjišťovat, zda je vybraná metoda vhodná pro hodnocení změn povrchové drsnosti nanovláknenné vrstvy. Změny povrchové drsnosti nanovláknenné vrstvy budou sledovány pomocí přístroje TALYSURF CLI 500 a dále se budou hodnotit pomocí softwaru TALYMAP na základě změn hodnot povrchových charakteristik. Pro testování efektivity dané metody jsou vybrány 3 vzorky nanovláknenných vrstev s různými stupni úprav, kdy se na každém vzorku provede 5 pracích cyklů. Po každém pracím cyklu se budou sledovat změny povrchové drsnosti. Dále se bude sledovat, zda je možné změnu povrchové drsnosti vybranou metodou hodnocení povrchu detekovat.

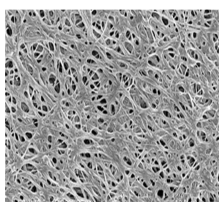
2 Teorie

2.1 Membrány

Pod pojmem membrána se rozumí tenká vrstva polymerního materiálu, jehož tloušťka se řádově pohybuje v mikrometrech. Pro vytvoření membránového materiálu se nejčastěji vrstva pojí laminací k nosné textilií. Účelem membrány je zamezit propouštění vody zvenčí a zároveň umožnit propustnost vodních par, tedy odpařování potu z kůže nositele. Nejčastěji používané materiály pro membránovou vrstvu jsou polytetrafluoretylen, polyester a polyuretan. Membránové materiály se dělí jednak podle spojení s nosnou tkaninou a dále podle principu fungování membránové vrstvy na níže uvedené [2].

2.1.1 Rozdělení membrán podle principu práce

V případě mikroporézních membránových vrstev se jedná o pórovitý materiál využívající rozdíl velikosti molekul vody a vodní páry. Póry ve vrstvě jsou několikanásobně menší než kapka vody a zároveň několikanásobně větší než molekula vodní páry. Tím se docílí žádaného efektu, póry jsou příliš malé pro propuštění vody a zároveň dostatečně velké na to, aby jim mohla prostoupit vodní pára. Velikost takových pórů se pohybuje v desetinách mikrometrů. Mikroporézní membránové vrstvy dosahují vysokých hodnot paropropustnosti, přes $20\,000\text{ g/m}^2/24\text{ hod}$, odpovídající klasifikaci $Ret = 6\text{ Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$, což je hodnoceno jako velmi dobré, a hodnot vodního sloupce přes 20 m . Nevýhodou mikroporézních membránových vrstev je zanášení pórů. Během používání se póry mohou zanášet nečistotami, solemi a částicemi tuku. S tím se pojí i důležitost správné údržby, ke které je nutné používat prostředky nezanechávající v materiálu rezidua, které by také zanášela póry a snižovala paropropustnost materiálu. Nejznámějším mikroporézním materiálem je Gore-Tex® z expandovaného polytetrafluoretylenu, také známého jako teflon. Mikroskopický snímek mikroporézní membrány je na obr. 2 [2].



Obr.2 Mikroskopický snímek mikroporézní membrány dle [2].

Hydrofilní membránové vrstvy nemají žádné póry, jedná se tedy o bezporézní povlak pracující na odlišném principu než membránové vrstvy mikroporézní. Voda se na určitý okamžik váže do samotné membránové vrstvy a působením chemicko-fyzikálního principu, zvaného sorpce, je transportována na svrchní stranu membrány. Jedná se o princip podobný výměně látek přes buněčnou membránu organismů. Voda kondenzuje na vnitřní straně a je rozváděna do samotné membrány, kde je působením tepla vyprodukovaného tělem nositele, transportována ven. Růstem fyzické aktivity nositele vzrůstá i míra pocení se a to zároveň vede k růstu tělesné teploty. Zvýšením teploty se molekuly uvnitř membrány pohybují rychleji, vzdálenosti mezi molekulami se tak zvětšují a schopnost propouštět vodu z vnitřní strany úměrně narůstá. Proto čím více se nositel potí, tím více membrána umožňuje odvod potu. Výhodou hydrofilních membránových vrstev oproti mikroporézním je minimální zanášení, lepší elasticita a umožnění odvodění i kapalně formy potu, při zachování vysoké hodnoty vodního sloupce více než 30 m. Nevýhodou je téměř nulový přenos plynů. Údržba materiálů z hydrofilních membránových vrstev je snadná, jelikož se můžou prát v běžných pracích prostředcích při teplotě 30°C. Mezi známe hydrofilní materiály patří Sympatex z modifikovaného polyesteru [2].

2.1.2 Rozdělení membrán podle spojení s nosnou textilií

Dvou vrstvé lamináty, u tohoto provedení je membránová vrstva nalaminována z jedné strany na nosnou textilií, která na oděvu představuje svrchní vrstvu. Z vnitřní strany je zpravidla kryta podšívka, která chrání membránovou vrstvu před poškozením a zabraňuje přímému kontaktu s pokožkou. Podšívka není k membránové vrstvě pevně připojena. Laminací k svrchní tkanině se zvýší odolnost vůči poškození samotné membránové vrstvy, ale zároveň se sníží paropropustnost a voděodolnost membránové vrstvy. Obvykle se tak vytvoří komfortní a poddajný materiál [2].

Třívrstvé lamináty, v tomto provedení je membránová vrstva nalaminována jak na svrchní tkaninu, tak i na tkaninu podšívky. Membránová vrstva tedy tvoří jeden celek se svrchní tkaninou a podšívkou. Výsledkem je méně poddajný, ovšem mechanicky velice odolný materiál, vhodný pro extrémní použití [2].

Dvouapůlvrstvé lamináty slouží za účelem dosažení lehčího a poddajnějšího materiálu s dobrou mechanickou odolností, kdy dochází k odlehčení provedení třívrstvého laminátu. Podšívka z třívrstvého laminátu je nahrazena vrstvou ochranného nánosu [2].

Provedení s volně vloženou membránovou vrstvou neboli z-liner, zde se už laminace vůbec nepoužívá. Membránová vrstva je volně vložena mezi podšívku a schvrchní tkaninu. Toto provedení umožňuje zachovat paropropustné parametry membránové vrstvy a také umožňuje použít membránovou vrstvu v kombinaci s materiálem, u kterého by se laminace špatně provedla [2].

2.2 Elektrostatické zvlákňování nanovláken

Při elektrostatickém zvlákňování se využívá polymerní roztok či tavenina, který je nabitý vysokým elektrickým napětím. Elektroda napětí je ponořena přímo do polymeru. Ten je přiveden do trysky, nazývané kapilára, kde dochází ke zvlákňování. Následkem vysokého napětí se mezi špičkou kapiláry a uzemněním, které se využívá jako kolektor vláken, vytvoří elektrické pole a jehož důsledkem na špičce kapiláry dochází k jevu zvanému Taylorův kužel. Při tomto jevu dochází k změně tvaru kapaliny na konci trysky z běžného hemisférického na kuželovitý, až růstem napětí, na vláknenný tvar. Indukovaný náboj v kapalině se uvolňuje k volnému povrchu kapaliny na konci trysky. Vlivem vzájemné odpudivosti nábojů a přitahováním kladných nábojů k záporným na uzemněné elektrodě dochází k síle přímo opačné povrchovému pnutí kapaliny. Ta je tímto efektem tlačena od konce kapiláry a přitom vytváří kuželovitý tvar až do kritického bodu, kdy elektrostatická síla přesáhne sílu povrchového pnutí a ze špičky Taylorova kuželu je vypuzen kladně nabitý proud kapaliny. Při průchodu elektrickým polem se tento proud zrychluje a tím dále ztenčuje. Rozpouštědlo se vypaří, dojde ke ztuhnutí vláken a jejich usazení na kolektoru. Touto metodou vytvořená vlákna, zachycená na kolektoru, jsou nazývána nanovlákna, neboť jejich průměr je menší jak jeden mikrometr a vyjadřuje se tedy v nanometrech ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) [3].

V procesu může však docházet k nestabilitě proudu, vlivem nízké molekulární hmotnosti použitého polymerního roztoku či taveniny. Taková nestabilita má za následek vytvoření nabitých kapiček a dochází k procesu zvanému elektrostatické rozprašování. Aby se předešlo vzniku nestability v proudu, je vhodné použít viskóznější polymerní kapaliny. Viskoelastické síly stabilizují proud a dovolují tak vzniku vláken, které se usadí na kolektoru v podobě netkané textilie [3].

Nanovlákené membránové vrstvy zkoumané v této práci jsou vytvořeny metodou zvanou Nanospider. Tento způsob byl vyvinut na Katedře netkaných textilií Technické univerzity v Liberci. Metoda se liší od základní, více popsané tím, že Taylorovy kužely

nejdou vytvářeny na konci trysky, ale tvoří se z tenkého filmu nabitého polymerního roztoku pokrývajících válec. Tento válec je ponořen přímo do nabitého polymerního roztoku, rotuje a tím se na jeho povrchu drží slabá vrstva nabitého polymerního roztoku. Nad válcem je umístěn kolektor v podobě projíždějící textilie, na níž se uchycují vytvořená nanovlákna. Výhodou metody Nanospider je dostatečně vysoká produkce nanovláken, aby bylo možné průmyslové využití. Průměr takto vytvořených vláken je v rozsahu 100 – 300 nm a plošná hmotnost nanovlákených vrstev je 0,1 – 5 g/m²[3].

2.3 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu představuje nezanedbatelnou součást výrobků a s rozvojem technologií její význam dále roste. Podílí se jak na odolnosti proti dynamickému namáhání, tak i na funkčních vlastnostech. To proto, že funkční vlastnosti povrchu jsou do jisté míry určovány jeho geometrií. Z analýz lomů dynamicky namáhaných součástí vyplývá, že k lomům dochází na povrchu nebo těsně pod ním, což vede k poznatku, že odolnost proti únavě závisí na jakosti povrchu. Dále funkci povrchu lze hodnotit ze dvou hledisek. Prvním jsou fyzikální a chemické vlastnosti povrchové vrstvy. Ty jsou určeny jednak použitým materiálem, tak podmínkami při výrobě. Druhým hlediskem je prostorové uspořádání, neboli textura (morfologie), které je vyjadřováno především právě drsností [1].

Povrch je tvořen makrogeometrií, což je jeho tvar a vlnitost, a mikrogeometrií. Drsností povrchu se rozumí mikrogeometrie. Lze ji definovat jako souhrn nerovností povrchu s relativně malými horizontálními vzdálenostmi. Za drsnost povrchu se ovšem nepovažují vady povrchu, náhodně vytvořené trhliny, zářezy a podobně, které vznikly buď vadou při výrobě, či vadou zpracovávaného materiálu. Nerovnosti povrchu neboli odchylky od ideální geometrie, se dají dále popsat jako rozdíl skutečného tvaru plochy od tvaru plochy jmenovitého, tedy ideálního. Základní měření těchto nerovností i jejich odchylek lze provést vytvořením profilu povrchu. Ten vznikne jako průsečnice roviny řezu kolmé ke zkoumané ploše. Tento způsob měření tvaru povrchu se označuje jako dvourozměrné měření. Měřené veličiny se vyhodnocují od základního povrchu. Základní povrch má tvar jmenovitého povrchu a polohu shodnou se směrem skutečného povrchu v prostoru [1].

V praktickém měření se veličiny vyhodnocují vzhledem k základní čáře, kterou je střední čára profilu *m*. „Střední čára *m* má tvar jmenovitého profilu a rozděluje skutečný

profil tak, že v rozsahu základní délky l je součet druhých mocnin odchylek profilu od této čáry nejmenší [1].“ Střední čára m se dá vyjádřit vzorcem (1) a grafické zobrazení je na *obr.3*.

$$\int_0^l y^2 dx = \min, \quad (1)$$

kde l je základní délka a y je odchylka profilu.

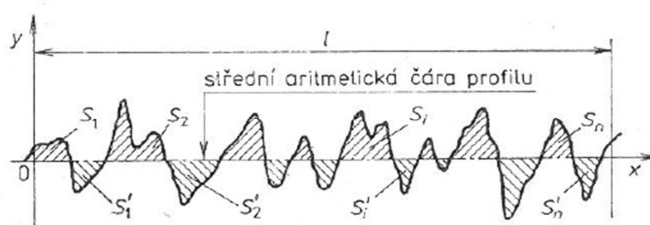


Obr. 3 Střední čára profilu dle [1].

Snadněji zjistitelnou variantou je střední aritmetická čára profilu m . „Ta má tvar jmenovitého profilu, je ekvidistantní se směrem skutečného profilu a rozděluje skutečný profil tak, že v rozsahu základní délky l jsou součty ploch po obou jejích stranách stejné [1].“ Výpočetní systém, u kterého je střední čára profilu přijata za základní čáru, je základem pro většinu mezinárodních norem týkajících se vyhodnocení drsnosti povrchu. Střední aritmetickou čáru lze vyjádřit vzorcem (2) a její grafické znázornění je uvedeno na *obr. 4*.

$$\sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n S'_i, \quad (2)$$

kde S_i je plocha nad střední aritmetickou čarou profilu a S'_i je plocha pod střední aritmetickou čarou profilu.

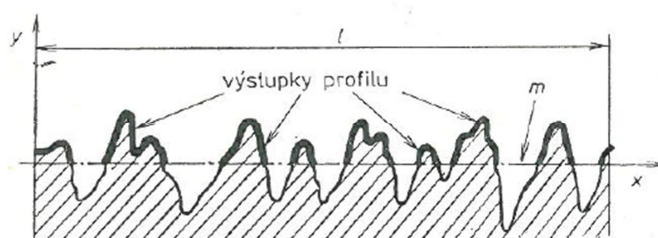


Obr. 4 Střední aritmetická čára profilu [1].

Ve výše uvedených vzorcích „základní délka l je délka základní čáry užívaná pro oddělení nerovností charakterizujících drsnost povrchu od jiných geometrických odchylek. Nerovnosti povrchu, které patří k drsnosti povrchu, lze například prakticky

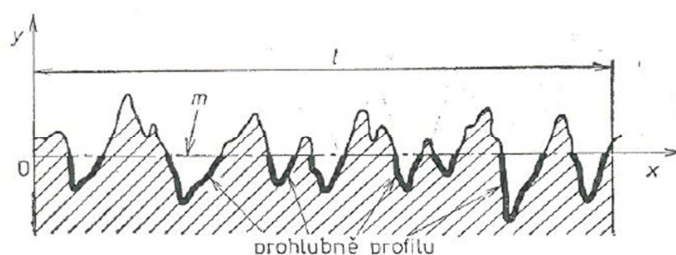
oddělit nastavením mezní rozteče λ_v (*cut-off*) rovné základní délce l . To znamená, že na délce λ_v se přenáší 75% amplitudy sinusového tvaru profilu při užití předepsaného filtru [1].“

Dále se při zkoumání drsnosti povrchu rozlišují nerovnosti profilu, právě jejich měřením se získávají číselné hodnoty o daném povrchu. Nerovnosti profilu jsou tvořeny výstupky profilu a s nimi spojenými prohlubněmi profilu. „Výstupek profilu je část skutečného profilu, spojující dva jeho sousedící průřezky se střední čarou profilu, uvažovaná směrem z materiálu. Části výstupků profilu na začátku nebo na konci základní délky se považují vždy za výstupky profilu [1].“ Výstupky profilu jsou znázorněny na obr. 5.



Obr. 5 Výstupky profilu dle [1].

„Prohlubeň profilu je pak část skutečného profilu, spojující dva jeho průřezky se střední čarou profilu, uvažovaná směrem do materiálu. Obdobně části prohlubní profilu na začátku nebo na konci základní délky se považují za prohlubně profilu [1].“ Prohlubně profilu jsou znázorněny na obr. 6



Obr.6 Prohlubně profilu dle [1].

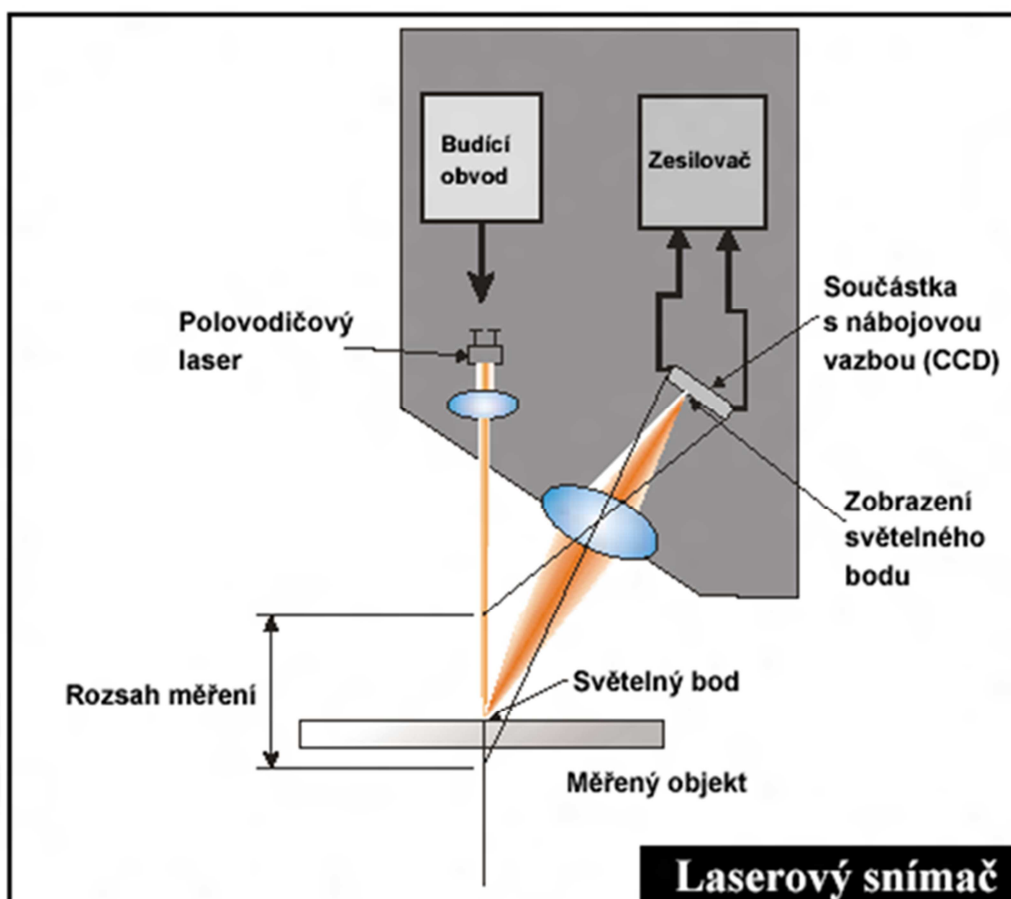
Profil povrchu se dá zkoumat i trojrozměrně. Takové měření podává podstatně komplexnější představu o textuře povrchu a tím umožňuje vysvětlit více vztahů mezi tvarem povrchu, jeho funkčními vlastnostmi a životností. Prostorové hodnocení nabízí

kromě číselného hodnocení i grafické, zobrazení textury povrchu formou axonometrického pohledu či topografické mapy povrchu. V této práci se měření a hodnocení drsnosti povrchu bude provádět v 3D na přístroji TALYSURF CLI 500, který je, včetně používaných parametrů, popsán v následující kapitole.

2.4 TALYSURF CLI 500

Přístroje řady TALYSURF CLI od výrobce Taylor Hobson Ltd představují vysoce účinné měřicí prostředky k provádění prostorového měření a hodnocení povrchu s vysokým rozlišením. Měření je možné provádět bezdotykovou metodou na třech osách, tedy vytvářet 3D model zkoumaného povrchu. Následná analýza dat může probíhat ve 2D hodnocením profilu jednoho řezu, či ve 3D, kdy se hodnotí profil plochy povrchu. Bezdotykový způsob měření povrchu je reprezentován laserovým triangulačním snímačem a CLA (Chromatic Length Aberration) snímačem. Výše popsaný způsob měření umožňuje velmi přesné měření struktury povrchu z hlediska jakosti i druhu materiálu. Praktické spojení tradičních 2D a nových 3D hodnotících metod činí přístroj ideálním pro monitorování výzkumu, vývoje a provádění studijních analýz [9].

TALYSURF CLI 500 je nejmenším z vyráběných přístrojů. Měřicí prostor má velikosti 50x50x50 mm s délkou posuvu 50 mm. Je tedy určen pro měření malých součástí. Přístroj použitý pro tuto práci je vybaven laserovým triangulačním snímačem povrchů, měření tak probíhá bezdotykovou metodou. Polovodičový laserový paprsek se odráží od měřeného povrchu a prochází skrze čočkové ústrojí, které paprsek zaostřuje na CCD snímač. Ten zaznamenává vrcholové hodnoty v rozložení světla ze světelného bodu. Jednotlivé pixely CCD snímače pak přesně určí X, Y, Z souřadnice měřeného místa. Schéma laserového snímače je uvedeno na *obr. 7*. V této práci se TALYSURF CLI 500 aplikuje na snímání a hodnocení změn povrchu nanovláknenných vrstev v 3D během prací cyklů [9].



Obr. 7 Schéma laserového triangulačního snímače dle [8].

2.5 TALYMAP

TALYMAP je základní softwarové vybavení přístroje TALYSURF CLI 500. Provádí řídicí, kontrolní, vyhodnocovací služby a umožňuje automatizaci měření. Graficky zobrazuje měřený povrch včetně přesného číselného popisu. Nabízí možnost nastavení přednastavených postupů měření, kterými se dosáhne jednotné formy prezentace výsledků měření. Jedná se o výkonný program pro analýzu dat, zahrnující funkce pro vyhodnocování povrchu ve 2D tak i 3D. K hodnocení povrchu ve 2D, tak ve 3D jsou použity všeobecně uznávané parametry, jejichž výčet a popis je uveden níže. V této práci je software TALYMAP použit pro výpočet charakteristik povrchu, na jejichž základě jsou hodnoceny změny povrchové drsnosti nanovláknenných vrstev během pracích cyklů [9].

2.6 Povrchové charakteristiky

Výsledky experimentu jsou hodnoceny na základě změn vybraných parametrů povrchu, vycházejících z norem ISO 25178, EUR 15178N a ISO 12781. Mezi tyto parametry povrchu patří výškové, prostorové, funkční objemové, amplitudové, prostorové objemové a parametry hladkosti. Zmíněné parametry jsou popsány v následujících kapitolách.

2.6.1 Výškové parametry

Výškové parametry představují skupinu parametrů povrchového zakončení vyjadřující osu Z kolmou k danému povrchu. Do této skupiny patří Sq – střední kvadratická odchylka, vyjadřující standartní kvadratickou odchylku výškového rozložení. Ssk – šikmost výškového rozložení, záporná hodnota Ssk indikuje, že povrch se hlavně skládá z jedné roviny a hlubokých, jemných prohlubní. Kladná hodnota Ssk představuje povrch, kde je hodně výstupků na rovině. Sku udává špičatost výškového rozložení. Sp – maximální výška vrcholu, neboli výška mezi průměrnou rovinnou a nejvyšším vrcholem. Sv – maximální hloubka prohlubně, neboli hloubka mezi průměrnou rovinnou a nejhlubší prohlubní. Sz – maximální výška, tedy výška mezi nejvyšším vrcholem a nejhlubší prohlubní. Poslední parametr ve skupině je Sa udávající průměrnou drsnost povrchu. Všechny v tomto odstavci uvedené parametry jsou normalizované dle mezinárodně platné normy ISO 25178 [10].

2.6.2 Prostorové parametry

Prostorové parametry popisují topografické charakteristiky povrchu založené na spektrální analýze. Udávají informace z os X a Y . Do této třídy parametrů patří Sal – autokorelační délka povrchu, vyjadřuje obsah ve vlnových délkách povrchu. Vysoká hodnota znamená, že povrch má převážně vysoké vlnové délky. Str – poměrový aspekt textury, hodny parametru se pohybují v rozmezí 0 a 1. Blíží-li se hodnota 1, dá se o povrchu říci, že je izotropní a opačně při hodnotě blíží se 0, povrch je anizotropní. Posledním parametrem v této třídě je Std – směr textury povrchu, tento parametr je smysluplný, když hodnota Str je menší než 0,5. Všechny v tomto odstavci uvedené parametry jsou normované dle normy ISO 25178 [10].

2.6.3 Funkční objemové parametry

Funkční objemové parametry se užívají pro tribologické studie, tedy zkoumání principů tření, lubrikace a opotřebení. Jsou vypočítány za pomoci Abbott-Firestonovi křivky vypočítané na zkoumaném povrchu. Do této skupiny parametrů se řadí $V_m(p)$ – objem hmoty. $V_v(p)$ – objem prázdnoty. V_{mp} – objem materiálu vrcholku. V_{mc} – objem materiálu v jádře. V_{vc} – objem prázdnoty v jádře. V_{vv} – objem prázdnoty v prohlubni. Všechny v tomto odstavci uvedené parametry jsou normované dle normy ISO 25178 [10].

2.6.4 Amplitudové parametry

Amplitudové parametry jsou skupinou parametrů povrchového zakončení charakterizující výškové rozložení povrchu. Parametry jsou odvozeny z 2D parametrů podle normy ISO 4287. Za referenční rovinu pro jejich výpočet je vybrána průměrná rovina měřeného povrchu. Do této skupiny patří S_a – aritmetická průměrná odchylka povrchu. S_q – střední kvadratická odchylka povrchu, vypočítává standardní odchylku pro povrchové amplitudy. S_z – výška z deseti bodů povrchu, počítána pouze v zónách se šířkou shodnou s autokorelační délkou povrchu, počítanou z parametru S_{al} . S_{sk} – šikmost výškového rozložení, záporná hodnota S_{sk} indikuje, že povrch se hlavně skládá z jedné roviny a hlubokých, jemných prohlubní. Kladná hodnota S_{sk} představuje povrch, kde je hodně výstupků na rovině. S_{ku} – špičatost výškového rozložení, S_p – maximální výška vrcholu, neboli výška mezi průměrnou rovinnou a nejvyšším vrcholem, S_v – maximální hloubka prohlubně, neboli hloubka mezi průměrnou rovinnou a nejhlubší prohlubní. S_t – totální výška povrchu, tedy výška mezi nejvyšším vrcholem a nejhlubší prohlubní povrchu. Všechny v tomto odstavci uvedené parametry jsou normalizované normou EUR 15178N [11].

2.6.5 Prostorové a objemové parametry

Prostorové a objemové parametry popisují geometrii povrchu. Vztahují se k funkčním vlastnostem povrchu, například k opotřebení. Do této skupiny patří pouze následující dva parametry. S_{mr} – poměr objemu hmoty, přesněji objem oblasti hmoty v zadané výšce k oblasti hodnocené. Zadaná výška je brána z referenční roviny. S_{dc} – výškový rozdíl objemu hmoty. Všechny v tomto odstavci uvedené parametry jsou normalizované normou EUR 15178N [11].

2.6.6 Parametry hladkosti

Parametry hladkosti jsou vypočteny na bázi povrchu vyrovnaného metodou nejmenších čtverců a následně vyfiltrovány. Do této skupiny patří následující parametry. *FLTt* – povrchová odchylka hladkosti vrcholu do prohlubně. *FLTp* – odchylka hladkosti vrcholu k referenci. *FLTv* – odchylka hladkosti reference k prohlubni. *FLTq* – střední kvadratická odchylka hladkosti. Všechny v tomto odstavci uvedené parametry jsou normované normou ISO 12781 [12].

V této práci je samotné hodnocení změn povrchové drsnosti prováděno na základě monitorování změn hodnot těchto parametrů, naměřených na použitých vzorcích po jednotlivých pracích cyklech.

2.7 Souhrn současného stavu

Výzkum podobného charakteru byl proveden na základě studie [4] ve středisku výzkumu inteligentních textilních systémů na Fakultě inženýrství Národní univerzity v Soulu, Korea. Výzkum zde byl zaměřen na pozorování změn třecích vlastností povrchu netkaných textilií vlivem opakovaného odírání. Při výzkumu v Soulu byla data z povrchu získána pomocí 3D bezkontaktní metody měření, a pro vyhodnocení drsnosti povrchu byly ze získaných dat vypočítány fraktální dimenze. Zvolená metoda využívá systém laserového skenování, kde je zařízení vybaveno projektorem s paprskem a kamerovým senzorem. Paprsky s různou šířkou se překrývají na povrchu vzorku a podle rozdílů v obrazcích, které tak vytvoří, jsou vypočítány 3D souřadnice povrchu. Zvolená metoda měření není ovlivněna barvou měřeného vzorku či jeho texturou a měření probíhá v časovém úseku pod jednu sekundu. Žmolkování netkaných textilií při oděru v této studii nedovolovalo pořízení přesných dat povrchové drsnosti a ty tak řádně neukazovaly vztah mezi odíráním a třecími vlastnostmi povrchu. Proto byl na povrchová data použit *high-pass* filtr. Data přefiltrovaná *high-pass* filtrem již ukazovala znatelný trend růstu s přibývajícím počtem odíracích cyklů. Bylo zjištěno, že s přibývajícím počtem cyklů odírání se povrch netkaný povrch stával více nepravidelným, ovšem tření povrchu se nezvyšovalo přímou úměrností. Uvedená studie prokázala, že metoda měření povrchové drsnosti netkaných textilií může být adaptována na měření například zdravotnických netkaných textilií v reálném čase, přímo v provozu.

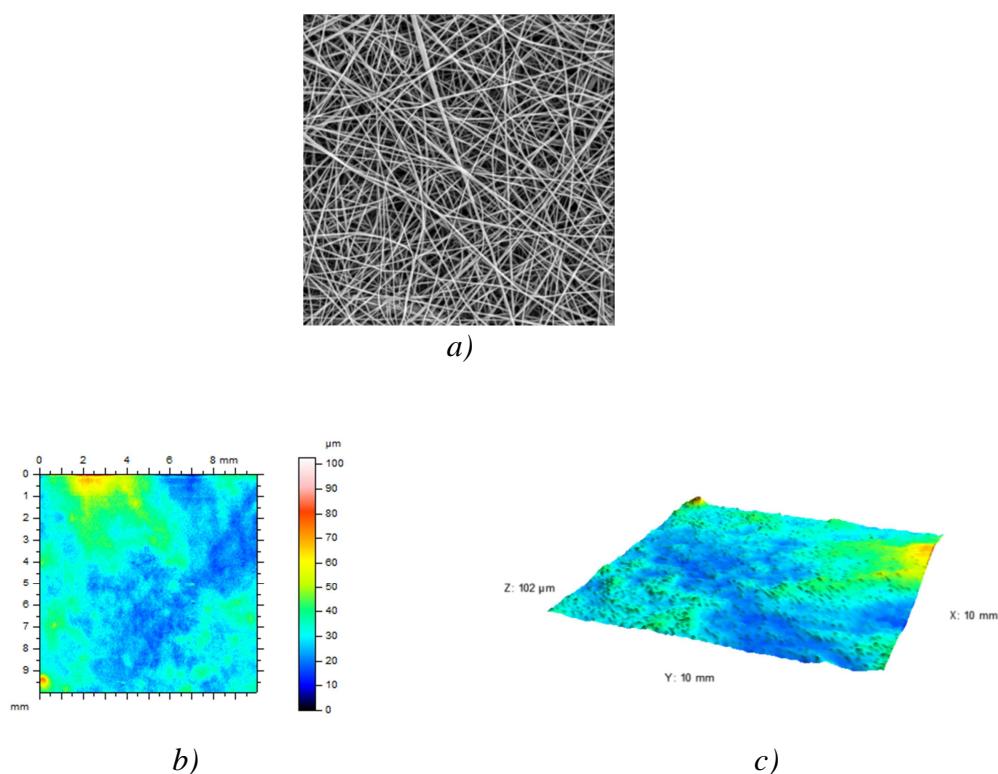
Další výzkum na podobné téma byl proveden na Technické univerzitě v Liberci, na katedře textilních materiálů [7]. Principem výzkumu bylo hodnocení povrchové drsnosti metodou obrazové analýzy. Dále bylo účelem výzkumu popsání nového zařízení a metody bezdotykového hodnocení drsnosti povrchu. Drsnost povrchu byla charakterizována na základě běžných a komplexních parametrů. V této práci bylo použito *RCM* zařízení, kde je měřená textilie ohnuta přes ostrou hranu a nasvícena laserem. Takto připravená textilie se nasnímá a pomocí obrazové analýzy je extrahován profil povrchu. Kontrolovaným pohybem ostré hrany a opakovaným snímáním povrchu se vytvoří *2D* rovina povrchové drsnosti. Závěrem této studie byl poznatek, že bezdotykové měření drsnosti textilie za použití *RCM* zařízení je užitečné pro popsání drsnosti jednotlivých profilů tak i roviny drsnosti. Dále lze zařízení *RCM* použít na popis dalších specifik povrchu textilií, jako je žmolkování.

3 Experimentální část

3.1 Sada vzorků

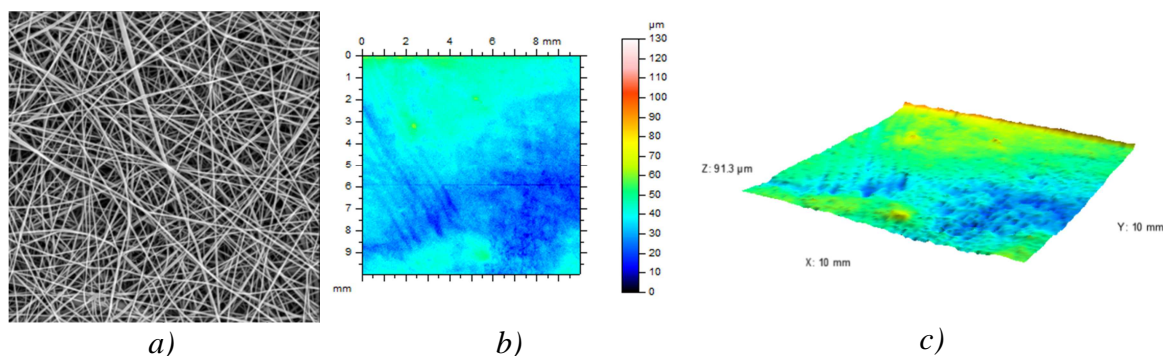
Pro experimentální část práce byly zvoleny tři vzorky nanovláknenné vrstvy. První dva vzorky představují předstupně konečného produktu a třetí vzorek je již konečný produkt. Prvním vzorkem byla nanovláknenná vrstva. Druhým vzorkem byla stejná nanovláknenná vrstva, ale již s povrchovou úpravou. Třetí vzorek byla membrána, přesněji nanovláknenná vrstva z předchozích vzorků nalaminovaná na nosnou textilií. Všechny vzorky byly poskytnuty a vyrobeny společností NANOPROTEX. Dále následuje specifikace zmíněných vzorků.

Prvním měřeným vzorkem byla nanovláknenná vrstva vyrobená přístrojem Nanospider z polymeru POLYAMID 6, o plošné hmotnosti $4,5 \text{ g/m}^2$ a průměrem vláken 150 nm . Na vzorku nebyly provedeny žádné úpravy. Mikroskopický snímek nanovláknenné vrstvy *a)*, 2D povrch *b)* a 3D povrch *c)* získány přístrojem TALYSURF CLI 500, jsou zobrazeny na *obr. 8*. Dále bude tento vzorek označován jako vzorek 1.



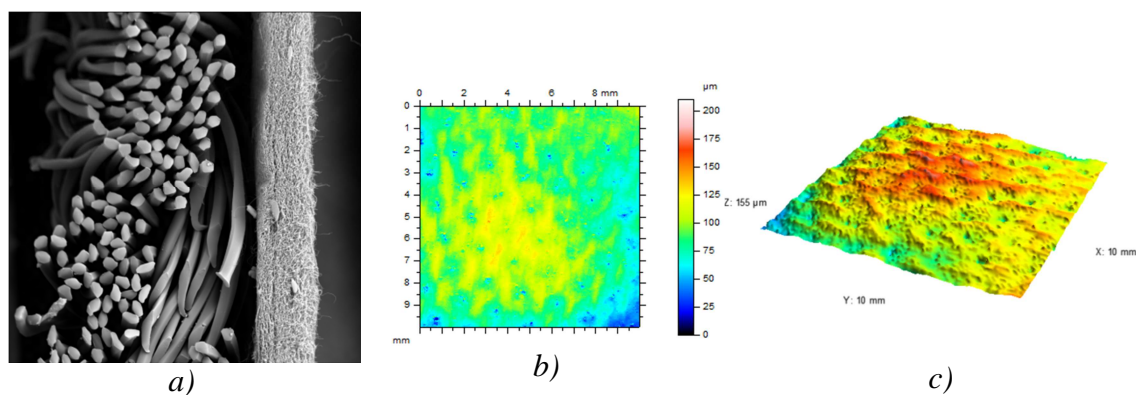
Obr. 8 Mikroskopický snímek nanovláknenné vrstvy a). Povrch nanovláknenné vrstvy v 2D b) a v 3D c).

Jako druhý vzorek vybraný pro experiment byla zvolena shodná nanovláknenná vrstva jako vzorek 1, který byl upraven hydrofobizací fluorkarbonem. Fluorkarbon je perforovaný uhlovodík. Mikroskopický snímek hydrofobizované nanovláknenné vrstvy *a)*, 2D povrch *b)* a 3D povrch *c)* získány přístrojem TALYSURF CLI 500, jsou zobrazeny na *obr. 9*. Tento vzorek bude nadále označován jako vzorek 2.



Obr. 9 Mikroskopický snímek hydrofobizované nanovláknenné vrstvy a). 2D povrch vzorku 2 b) a 3D povrch vzorku 2 c).

Za třetí vzorek byl zvolen dvouvrstvý laminát nanovláknenné vrstvy (popsané ve vzorku 1) a nosné textilie. Laminát byl vyroben následujícím způsobem. Na tkaninu typu ripstop, 100% nylon, byly hloubkovým způsobem nanесeny laminační body polyuretanu a za tlaku 1 kg/m^2 , rychlosti 2 m/min a teploty 120°C došlo k laminaci nanovláknenné vrstvy s nosnou textilií. Vzorek je zobrazen na *obr. 10*, kde *a)* je mikroskopický snímek řezu laminátu nanovláknenné vrstvy, vlákna tvoří nosnou textilií a vrstva z podstatně jemnějších vláken je právě nanovláknenná vrstva, *b)* je 2D povrch a *c)* je 3D povrch. Nadále bude tento vzorek označován jako vzorek 3.



Obr. 10 Mikroskopický snímek řezu dvouvrstvým laminátem nanovláknenné vrstvy a nosné textilie a), 2D povrch vzorku 3 b) a 3D povrch vzorku 3 c).

3.2 Parametry snímání povrchu

Snímání bylo prováděno na přístroji TALYSURF CLI 500, který je popsán v teoretické části, v kapitole 2.4. Konfigurace parametrů snímání přístroje pro všechna měření byla vybrána a nastavena následovně:

- Velikost snímaného vzorku [mm] 10x10
- Rozlišení [Dpi] 1000
- Datová rozteč [μm] 10
- Rychlost měření [mm/s] 2
- Rychlost návratu [mm/s] 4

Tyto parametry snímání jsou aplikovány u všech měření povrchu vzorků a byly vybrány experimentálně v závislosti na kvalitě získaného obrazu a času potřebného pro měření.

3.3 Popis experimentu

Účelem experimentu je zjistit, zda-li je možné zvolenou metodu hodnocení změn 3D povrchu pomocí povrchových charakteristik aplikovat na nanovlákněné vrstvy a hodnotit tak změny povrchové drsnosti dané nanovlákněné vrstvy vlivem pracích cyklů. Pro tento účel jsou zvoleny tři vzorky. Ty byly v průběhu experimentu pět-krát nořeny do kádě s vodným roztokem pracího prostředku určeného pro údržbu membrán a následně opláchnuty a nechaly se přirozeně uschnout. Přesný popis následuje v další kapitole. Nejprve je povrch vzorku nasnímán a po každém cyklu je povrch vzorku znovu nasnímán. Pro každý vzorek je vytvořena sada šesti obrazů, reprezentujících povrch původního vzorku a následně povrch vzorku po každém pracím cyklu. Shodně je pro každý vzorek vytvořena i sada hodnot povrchových parametrů, podle kterých se sledují změny povrchové drsnosti vzorků. Dalším cílem je zjistit, zda je tato metoda hodnocení vhodná pro tento účel.

3.4 Postup experimentu

Samotný experiment tedy spočívá v nasnímání původního povrchu vzorku a vypočítání povrchových charakteristik, vyprání tohoto vzorku a opětovné nasnímání povrchu a opětovné vypočítání povrchových charakteristik. Z důvodu vysoké jemnosti vzorků 1 a 2, které by byly při mechanickém praní zničeny, praní je prováděno ručně, ponořením

vzorku do vodného roztoku pracího přípravku *SPORT-WASH®*. Jedná se o přípravek speciálně určený pro údržbu membrán a oděvů obsahujících nanovlákna. Při údržbě takovýchto textilních výrobků je důležité, aby čisticí prostředek nezanedbávalo aditiva na povrchu materiálu. Cizí částice by ucpávaly póry membránového materiálu a zhoršovaly tak funkční vlastnosti výrobku, jak je vysvětleno v kapitole 2.1.1. Přípravek *SPORT-WASH®* proto neobsahuje bělidla, změkčovadla, vonící přísady a další aditiva. Přípravek se skládá z povrchově aktivních látek rostlinného původu, které jsou biologicky rozložitelné. Přesné složení přípravku je voda, *alcohols C12-16 ethoxylated*, *sodium carbonate*, *cocamide dea*, *nitriloacetic acid*, *sodium bisulfite*.

Postup praní byl shodný pro všechny tři vzorky, pro dodržení stejných podmínek během experimentu. Složení prací lázně bylo 4 l vody na 70 ml prostředku *SPORT-WASH®*. Lázeň měla teplotu lidského těla, tedy přibližně 36°C a vzorek byl do ní kompletně ponořen po dobu 30 minut. Po vyjmutí byl důkladně opláchnut v čisté vodě, uložen na nepřilnavý materiál, na kterém byly vzorky obdrženy od výrobce a ponechán tak minimálně 24 hodin k plnému vysušení. Následně byl opětovně nasnímán povrch vzorku. Tento cyklus byl pětikrát opakován pro každý vzorek. Pro každý vzorek tak byla vytvořena sada šesti měření. Následuje přehled povrchů vzorků v grafické podobě, kdy změna povrchu vzorku v průběhu experimentu je reprezentována původním povrchem vzorku a jeho povrchem po pátém pracím cyklu.

3.5 Metoda hodnocení změn povrchu

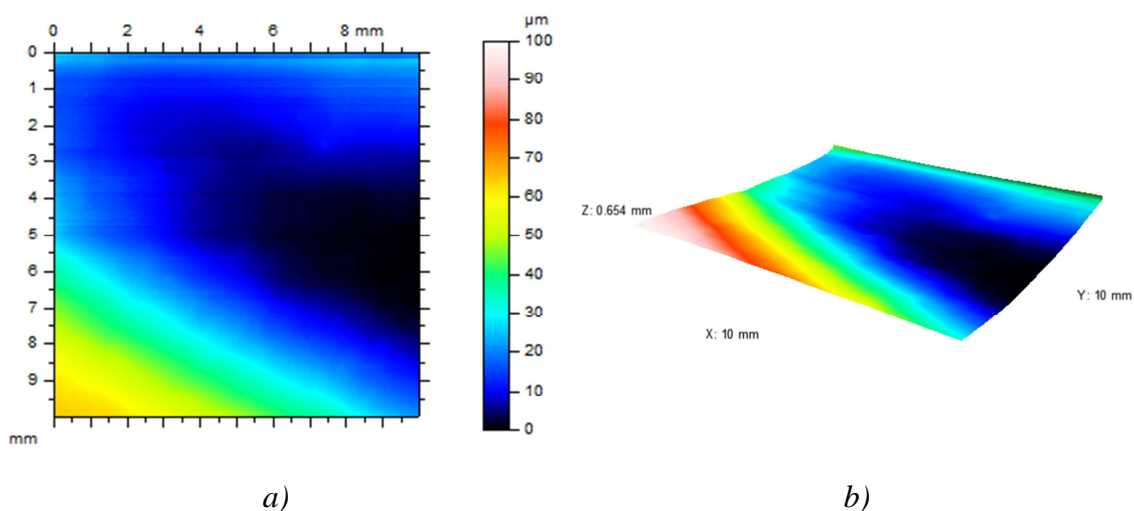
Metoda hodnocení je založena na sledování změn povrchových charakteristik. Za pomoci softwaru Talymap, který je popsán v kapitole 2.5, jsou data ze snímání vzorků dále zpracovávána. Prvotní povrch je vyrovnán přes rovinu nejmenších čtverců. Následně je z tohoto povrchu extrahována jeho forma použitím polynomu řádu 5. Z takto předzpracovaného 3D povrchu jsou vypočítány hodnoty parametrů, podle kterých bude dále provedeno vyhodnocení experimentu. Číselné hodnoty parametrů jsou určeny z povrchů zpracovaných výše popsanou metodou. V následujících kapitolách jsou uvedeny obrazy povrchů a série profilů povrchů pro všechny vzorky, vždy pro původní vzorek a pro vzorek po 5. pracím cyklu. Zbývající povrchy jsou uvedeny v příloze I. 2D a 3D povrchy zkoumaných vzorků, zbývající série profilů povrchu jsou v příloze II. Série profilů povrchů zkoumaných vzorků.

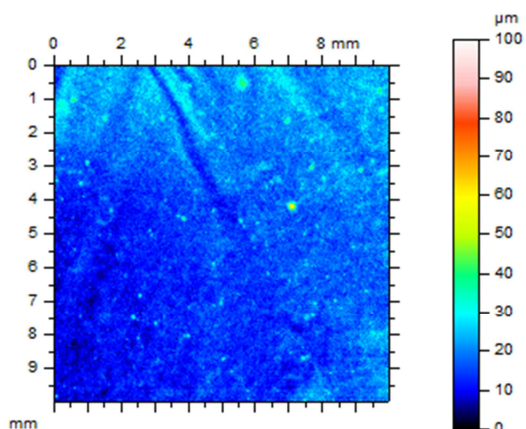
4 Výsledky změn povrchu

4.1 Vzorek 1 - výsledky

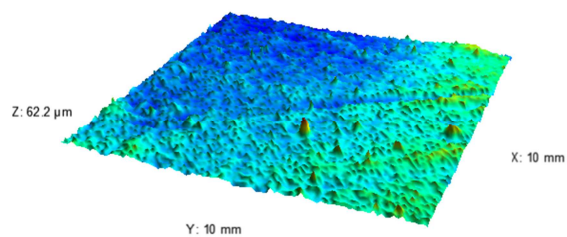
V této kapitole je přehled dat získaných z experimentu pro vzorek 1. Uvedená grafická část výsledků představuje původní povrch vzorku 1 a jeho povrch na konci experimentu, tedy po pátém pracím cyklu. Původní povrch vzorku 1 *a)*, ve 3D *b)*. Povrch vzorku 1 po 5. pracím cyklu ve 2D *c)* a ve 3D *d)* jsou zobrazeny na *obr. 11*. Dále jsou zde uvedeny série profilů původního povrchu vzorku 1 *e)* a série profilů povrchu vzorku 1 po pátém pracím cyklu *f)* na *obr. 11*.

V tabulkách 1 – 6 jsou uvedeny hodnoty vybraných parametrů povrchu vzorku 1, mezi něž patří výškové parametry, prostorové parametry, funkční objemové parametry, amplitudové parametry, prostorové a objemové parametry a parametry hladkosti. Hodnoty jsou uvedeny pro všechny prací cykly. Sloupce *Původní vzorek II* a *5. prací cyklus II* obsahují hodnoty z druhého měření, které bylo provedeno na odlišném místě vzorku než měření první za účelem ověření výsledků prvního měření. Z důvodu časové náročnosti bylo druhé měření provedeno pouze na původním vzorku 1 a vzorku 1 po pátém pracím cyklu. Na základě změn hodnot těchto parametrů povrchu bude dále provedeno vyhodnocení výsledků experimentu.

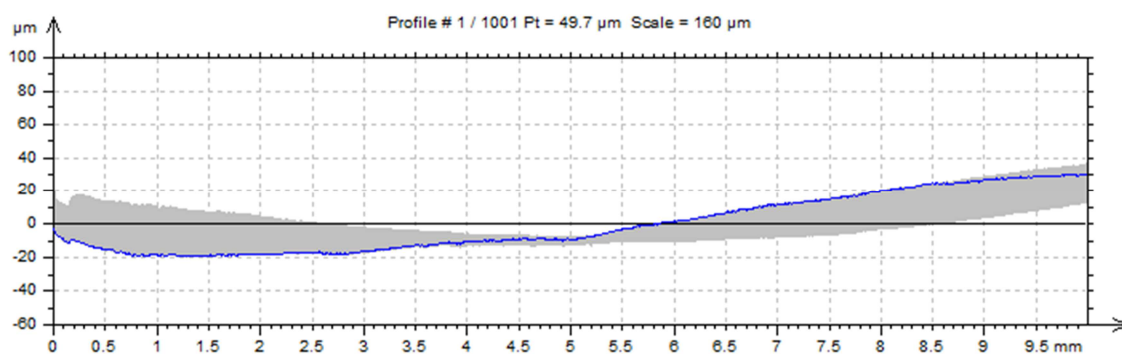




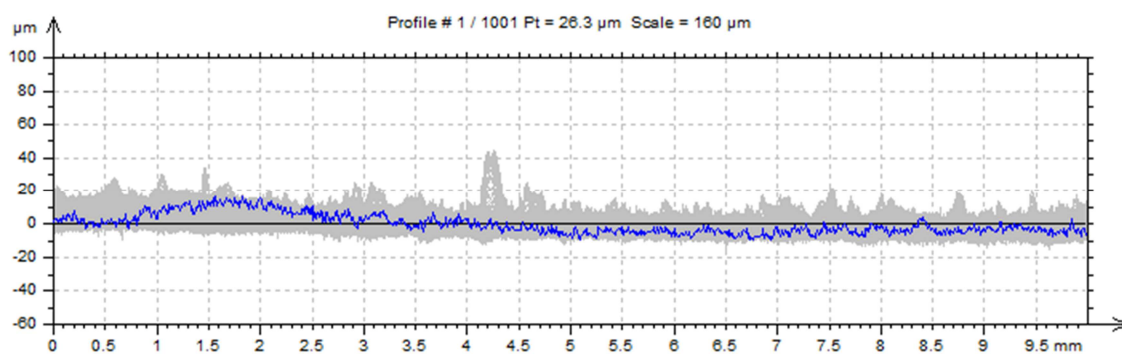
c)



d)



e)



f)

Obr. 11 Původní povrch vzorku 1 v 2D a) a ve 3D b). Povrch vzorku 1 po 5. pracím cyklu v 2D c) a v 3D d). Dále série profilů původního povrchu vzorku 1 e) a série profilů povrchu vzorku 1 po pátém pracím cyklu f).

Tab. 1 Hodnoty výškových parametrů (ISO 25178) pro vzorek 1.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Sq [μm]	11	7,01	8,95	5,61	11,1	1,74	6,24	7,46
Ssk [-]	1,15	2,69	-0,443	1,35	0,52	1,2	1,57	-2,23
Sku [-]	4,02	13,3	3,45	4,11	4,87	5,46	5,92	11,7
Sp [μm]	42,7	59,6	15,7	21,5	66,2	11,6	28	22,7
Sv [μm]	13,1	11,7	35,3	8,61	28	3,14	11,1	46,3
Sz [μm]	55,8	71,3	51	30,1	94,2	14,7	39,1	69
Sa [μm]	8,82	4,29	7,31	4,43	8,45	1,28	4,55	4,51

Tab. 2 Hodnoty prostorových parametrů (ISO 25178) pro vzorek 1.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Sal [mm]	2,06	1,15	1,64	1,75	1,43	2	1,92	1,16
Str [-]	0,409	0,4	0,328	0,343	0,62	0,382	0,624	0,393
Std [°]	0	15	0	0,283	90	9,77	89,9	90

Tab. 3 Hodnoty funkčních objemových parametrů (ISO 25178) pro vzorek 1.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Vm [mm^3/mm^2]	0,000975	0,000982	0,000179	0,000383	0,000811	0,000147	0,000677	0,00045
Vv [mm^3/mm^2]	0,0152	0,00819	0,0121	0,00926	0,0129	0,00241	0,00838	0,00574
Vmp [mm^3/mm^2]	0,000975	0,000982	0,000179	0,000383	0,000811	0,000147	0,000677	0,00045
Vmc [mm^3/mm^2]	0,00891	0,00306	0,0075	0,00398	0,00945	0,00123	0,00425	0,00342
Vvc [mm^3/mm^2]	0,0149	0,0077	0,011	0,0091	0,0117	0,00224	0,008	0,00403
Vvv [mm^3/mm^2]	0,000341	0,000488	0,00111	0,000169	0,00118	0,000169	0,000382	0,00171

Tab. 4 Hodnoty amplitudových parametrů (EUR15178N) pro vzorek 1.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Sa [μm]	8,82	4,29	7,31	4,43	8,45	1,28	4,55	4,51
Sq [μm]	11	7,01	8,95	5,61	11,1	1,74	6,24	7,46
Sz [μm]	*	*	*	*	*	*	*	*
Ssk [-]	1,15	2,69	-0,443	1,35	0,52	1,2	1,57	-2,23
Sku [-]	4,02	13,3	3,45	4,11	4,87	5,46	5,92	11,7
Sp [μm]	42,7	59,6	15,7	21,5	66,2	11,6	28	22,7
Sv [μm]	13,1	11,7	35,3	8,61	28	3,14	11,1	46,3
St [μm]	55,8	71,3	51	30,1	94,2	14,7	39,1	69

Tab. 5 Hodnoty prostorových a objemových parametrů (EUR 15178N) pro vzorek 1.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Smr [%]	0,028600	0,000998	2,400000	0,015400	0,000785	0,016400	0,083	0,0606
Sdc [μm]	23,800000	10,800000	18,500000	13,100000	21,100000	3,480000	12,3	7,5

Tab. 6 Hodnoty parametrů hladkosti (ISO 12781) pro vzorek 1.

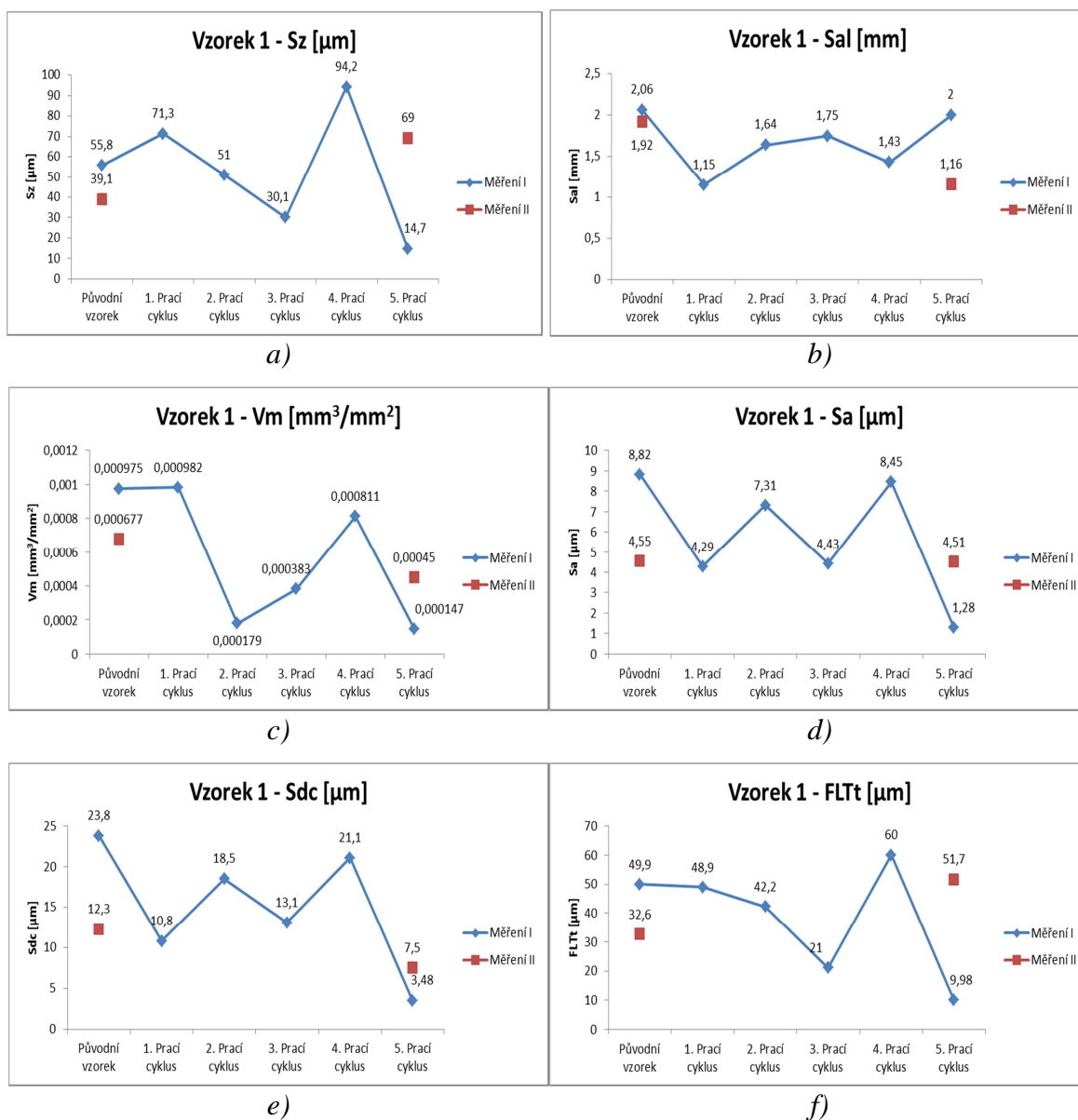
Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
FLTt [μm]	49,9	48,9	42,2	21	60	9,98	32,6	51,7
FLTp [μm]	36,9	37,2	15,6	13,5	33,6	6,91	23,9	18,8
FLTv [μm]	13	11,7	26,7	7,51	26,4	3,07	8,75	32,9
FLTq [μm]	9,92	5,01	8,29	4,27	8,97	1,52	5,77	5,63

4.1.1 Hodnocení výsledků povrchových charakteristik pro vzorek 1

Výsledky měření vzorku 1 vykazují neuspořádané hodnoty zkoumaných parametrů a jsou proto nevypovídající o trendu ve změně povrchové drsnosti vzorku 1 v závislosti na počtu pracích cyklů. Bylo provedeno ještě jedno měření, pro ověření těchto výsledků. Druhé měření potvrdilo nevypovídající hodnoty měření prvního, jelikož hodnoty z druhého měření se podstatně liší od hodnot z měření prvního ve stejné fázi experimentu. Neuspořádanost hodnot se projevuje několika jevy. Jedním z negativních jevů v hodnotách je, že u některých parametrů hodnoty vystupují z intervalu hodnot pro daný parametr, tedy číselného intervalu omezeného hodnotou prvního měření a posledního měření, jako příklad poslouží parametr S_z , jehož hodnoty jsou vyneseny na grafu *obr.12 a)*, kde hodnota parametru u 4. pracího cyklu $S_z=94,2[\mu m]$, podstatně vystupuje z intervalu $<14,7[\mu m];55,8[\mu m]>$. Dalším negativním jevem v sadě hodnot jsou nepřiměřené rozdíly mezi po sobě jdoucími hodnotami, kdy daná hodnota nabývá až několikanásobek hodnot sousedních, toto je znatelné na *obr. 12 d)*, kde v grafu jsou vyneseny hodnoty parametru S_a . Hodnota 4. pracího cyklu $S_a=8,45\mu m$ je přibližně 1,9 krát větší než hodnota předešlá $S_a=4,43\mu m$ a zároveň přibližně 6,6 krát větší než hodnota následující $S_a=1,28\mu m$. Bylo provedeno druhé měření na odlišných místech vzorků než měření první, aby se ověřilo, zdali zvolená metoda hodnocení povrchu skutečně podává pouze neuspořádané hodnoty. Hodnoty druhého měření se podstatně liší od hodnot z měření prvního ve stejné fázi experimentu, což potvrzuje neuspořádanost v hodnotách. V ideálním případě by měly být hodnoty druhého měření shodné s hodnotami prvního měření. Příkladem nepřiměřeného rozdílu mezi hodnotami z obou měření je parametr FLT_t , jehož hodnoty jsou vyneseny v grafu na *obr.12 f)*. Hodnota z druhého měření vzorku 1 po 5. pracím cyklu $FLT_t=51,7\mu m$ je přibližně 5,2 krát větší než hodnota z prvního měření $FLT_t=9,98\mu m$. Experiment tedy prokázal, že na základě zvolené metody hodnocení povrchu nelze hodnotit změny povrchové drsnosti nanovlákněné vrstvy během pracích cyklů.

Následuje přehled grafů hodnot vybraných charakteristik povrchu, naměřených na vzorku 1, každá zkoumaná skupina parametrů je reprezentována jedním parametrem. Modrá datová řada znázorněna v grafech představuje první měření a červené jsou hodnoty z druhého měření. Jak bylo popsáno v předešlém odstavci, druhé měření bylo provedeno pouze pro původní vzorek 1 a vzorek 1 po pátém pracím cyklu. Graf hodnot parametru S_z ze skupiny výškových parametrů *a)*, graf hodnot parametru S_a patřícího

mezi prostorové parametry *b*), graf hodnot parametru *Vm* ze skupiny funkčních objemových parametrů *c*), graf hodnot parametru *Sa* ze skupiny amplitudových parametrů *d*), graf hodnot *Sdc*, což je prostorový a objemový parametr *e*) a graf hodnot parametru *FLTt* patřícího do parametrů hladkosti *f*) jsou na *obr. 12*.

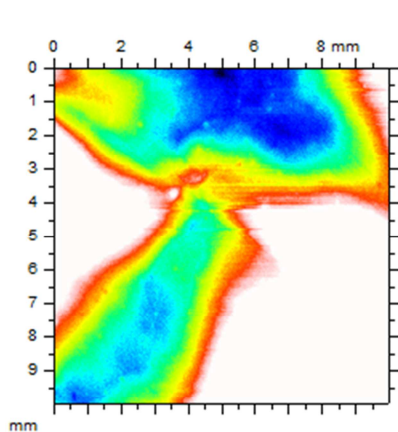


Obr. 12 Grafy hodnot povrchových charakteristik, každá zkoumaná skupina parametrů je reprezentována jedním parametrem, graf Sz a), graf Sal b), graf parametru Vm c), graf Sa d), graf Sdc e) a graf FLTt f).

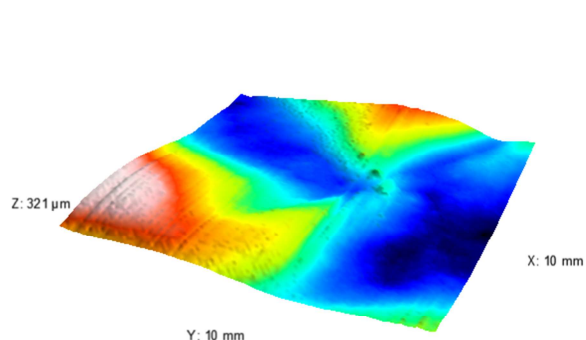
4.2 Vzorek 2 - výsledky

Následuje přehled výsledků experimentu změny povrchové drsnosti vzorku 2. Grafické výsledky jsou opět reprezentovány původním povrchem vzorku 2 a jeho povrchem po pátém pracím cyklu. 2D původní povrch vzorku 2 *a)*, 3D povrch *b)*, 2D povrch vzorku 2 po 5. pracím cyklu *c)* a 3D povrch *d)* jsou zobrazeny na *obr. 13*. Dále série profilů povrchu původního vzorku 2 *e)*, z důvodu vyšší přehlednosti, je uvedena série profilů z povrchu vyrovnaného metodou nejmenších čtverců, a série profilů povrchu vzorku 2 po pátém pracím cyklu *f)* jsou uvedeny na *obr. 13*.

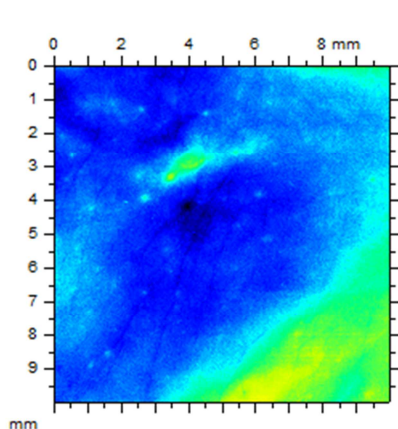
Dále jsou v tabulkách 7 - 12 uvedeny hodnoty vybraných parametrů povrchu vzorku 2, těmito parametry jsou výškové parametry, prostorové parametry, funkční objemové parametry, amplitudové parametry, prostorové a objemové parametry a parametry hladkosti. Hodnoty jsou uvedeny pro všechny prací cykly. Sloupce *Původní vzorek II* a *5. prací cyklus II* obsahují hodnoty z druhého měření, které bylo provedeno na odlišném místě vzorku než měření první za účelem ověření výsledků prvního měření. Z důvodu časové náročnosti bylo druhé měření provedeno pouze na původním vzorku 2 a vzorku 2 po pátém pracím cyklu. Na základě hodnot těchto parametrů povrchu bude dále provedeno vyhodnocení výsledků experimentu.



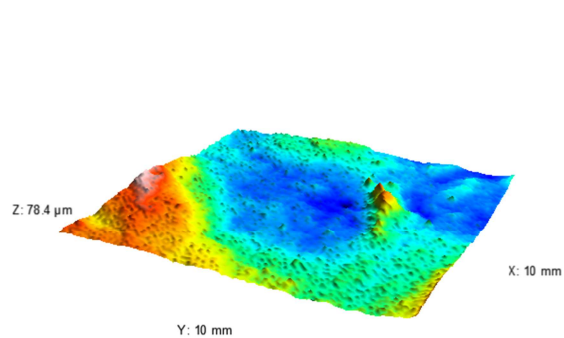
a)



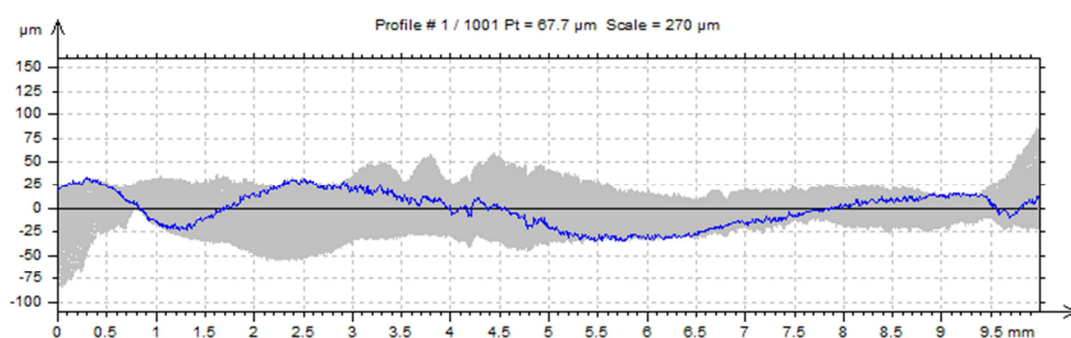
b)



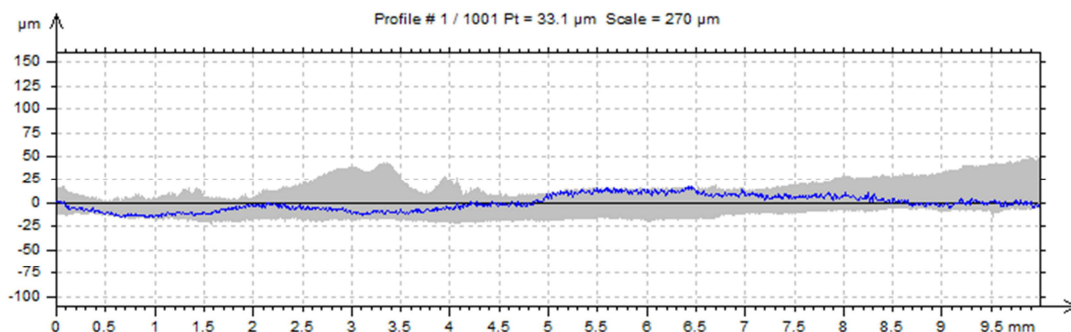
c)



d)



e)



f)

Obr. 13 Původní povrch vzorku 2 v 2D a) a ve 3D b). Povrch vzorku 2 po pátém pracím cyklu ve 2D c) a v 3D d). Série profilů povrchu původního vzorku 2, vyrovnaného metodou nejmenších čtverců e) a série profilů povrchu vzorku 2 po pátém pracím cyklu f).

Tab. 7 Hodnoty výškových parametrů (ISO25178) pro vzorek 2.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Sq [μm]	67,9	2,47	30,4	11,8	11,9	9,32	5	7,68
Ssk [-]	0,726	-0,785	-0,254	0,24	1,14	-0,0928	0,135	-0,193
Sku [-]	2,66	4,06	4,16	2,94	3,38	2,05	2,73	3,3
Sp [μm]	176	8,27	81,7	31,1	44,7	24,2	19	44,5
Sv [μm]	108	9,76	164	33,9	14,4	32,9	10,8	19
Sz [μm]	284	18	246	65	59,1	57,1	29,8	63,5
Sa [μm]	55,5	1,89	23,7	9,2	9,65	8,03	4,11	6,17

Tab. 8 Hodnoty prostorových parametrů (ISO 25178) pro vzorek 2.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Sal [mm]	2,05	1,47	1,18	1,55	1,88	1,87	1,93	1,59
Str [-]	0,703	0,518	0,291	0,443	0,361	0,42	0,378	0,448
Std [°]	0	8,27	90	90	0,346	26,5	0,292	26,6

Tab. 9 Hodnoty funkčních objemových parametrů (ISO 25178) pro vzorek 2.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Vm [mm^3/mm^2]	0,0031	7,55E-05	0,00117	0,000496	0,00071	0,000336	0,0003	0,000346
Vv [mm^3/mm^2]	0,11	0,00303	0,043	0,0178	0,02	0,0117	0,00602	0,00847
Vmp [mm^3/mm^2]	0,0031	7,55E-05	0,00117	0,000496	0,00071	0,000336	0,0003	0,000346
Vmc [mm^3/mm^2]	0,0618	0,00201	0,0252	0,00998	0,00921	0,0101	0,00485	0,00725
Vvc [mm^3/mm^2]	0,106	0,00262	0,0396	0,0165	0,0196	0,011	0,00558	0,00748
Vvv [mm^3/mm^2]	0,00348	0,000405	0,00334	0,00127	0,000367	0,000715	0,000447	0,000995

Tab. 10 Hodnoty amplitudových parametrů (EUR 15178N) pro vzorek 2.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Sa [μm]	55,5	1,89	23,7	9,2	9,65	8,03	4,11	6,17
Sq [μm]	67,9	2,47	30,4	11,8	11,9	9,32	5	7,68
Sz [μm]	*	*	*	*	*	*	*	*
Ssk [-]	0,726	-0,785	-0,254	0,24	1,14	-0,0928	0,135	-0,193
Sku [-]	2,66	4,06	4,16	2,94	3,38	2,05	2,73	3,3
Sp [μm]	176	8,27	81,7	31,1	44,7	24,2	19	44,5
Sv [μm]	108	9,76	164	33,9	14,4	32,9	10,8	19
St [μm]	284	18	246	65	59,1	57,1	29,8	63,5

Tab. 11 Hodnoty prostorových a objemových parametrů (EUR 15178N) pro vzorek 2.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Smr [%]	0,171	0,00499	0,0132	0,469	0,00137	0,0973	0,0283	0,000672
Sdc [μm]	168	4,63	64,8	26,4	28,8	21	10,4	14,7

Tab. 12 Hodnoty parametrů hladkosti (ISO 12781) pro vzorek 2.

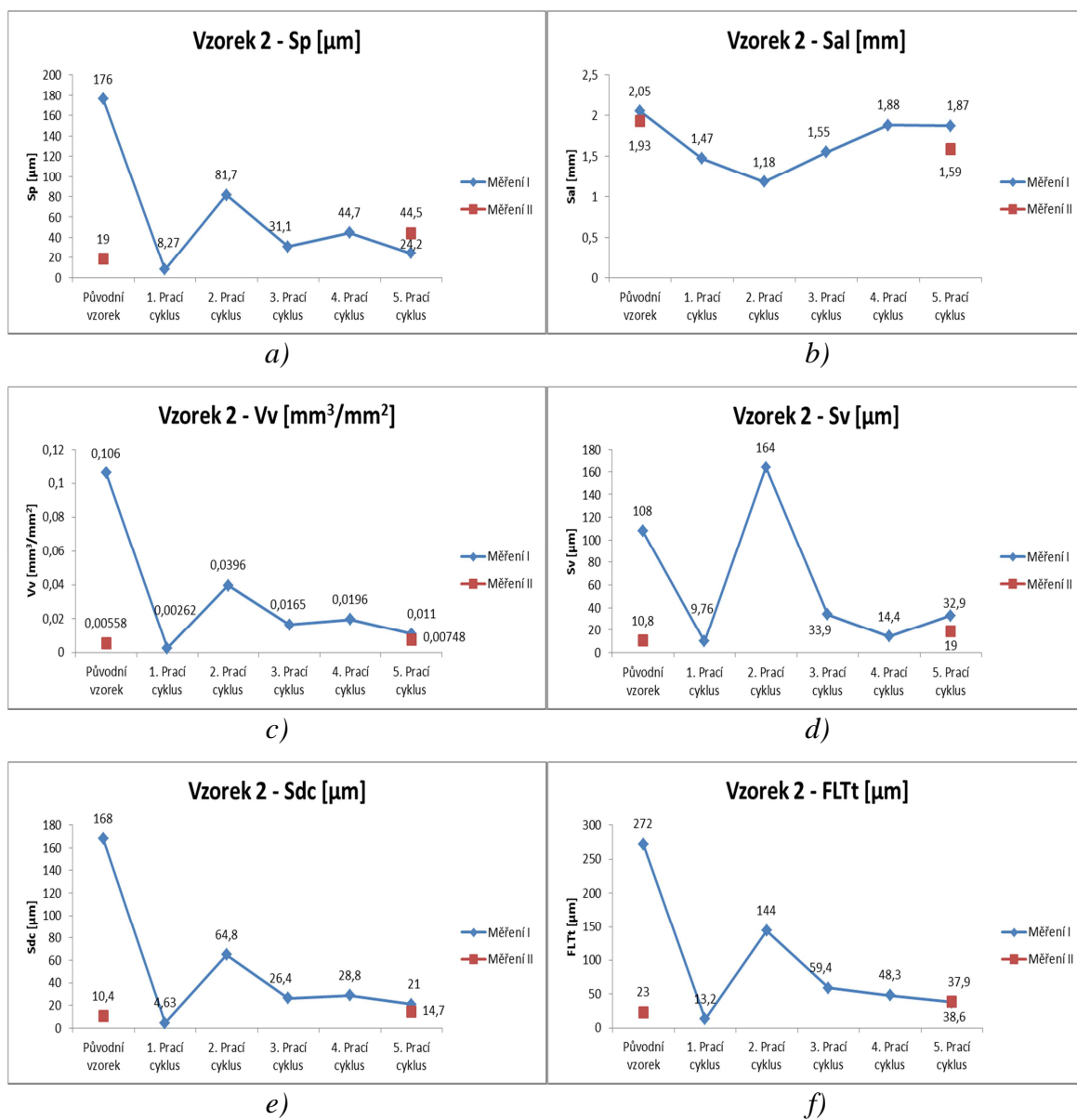
Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
FLTt [μm]	272	13,2	144	59,4	48,3	37,9	23	38,6
FLTp [μm]	175	4,34	72,2	30,6	33,9	20,5	12,2	19,8
FLTv [μm]	96,8	8,83	71,5	28,7	14,3	17,4	10,8	18,8
FLTq [μm]	65,5	2,25	26,2	10,9	11,1	8,84	4,52	7,1

4.2.1 Hodnocení výsledků povrchových charakteristik pro vzorek 2

Výsledky měření vzorku 2 jsou podobné výsledkům vzorku 1. I u vzorku 2 výsledky vykazují neuspořádané hodnoty zkoumaných parametrů a jsou tak nevypovídající o trendu ve změně povrchové drsnosti vzorku 2 v závislosti na počtu pracích cyklů. Pro ověření těchto výsledků bylo provedeno druhé měření a toto měření výsledky prvního potvrdilo, jelikož hodnoty z druhého měření se podstatně liší od hodnot měření prvního. Neuspořádanost v sadě hodnot se projevuje několika jevy, jedním je, že u řady parametrů povrchu jednotlivé hodnoty vystupují z intervalu hodnot daného parametru, tedy číselného intervalu omezeného hodnotami prvního a posledního měření vzorku 2. Příkladem tohoto jevu je parametr S_v , jehož hodnoty jsou vyneseny na grafu *obr. 14 d)*, a kde hodnota 2. pracího cyklu $S_v = 164\mu\text{m}$ významně vystupuje z intervalu omezeného hodnotami prvního a posledního měření, tedy $<32,9\mu\text{m}; 108\mu\text{m}>$. Dalším negativním jevem v sadě hodnot jsou nepřiměřené rozdíly mezi po sobě následujícími hodnotami, kdy daná hodnota je několikanásobkem hodnot sousedních. Příkladem je parametr FLT_t , jehož hodnoty jsou vyneseny na grafu *obr. 14 f)*. Hodnota 1. pracího cyklu je $FLT_t = 13,2\mu\text{m}$, zatímco hodnota 2. pracího cyklu je $FLT_t = 144\mu\text{m}$, tedy přibližně 11ti násobek hodnoty předchozí. Následující hodnota 3. pracího cyklu $FLT_t = 59,4\mu\text{m}$ je naopak přibližně 2,4 krát menší než hodnota předchozí. Druhé měření bylo provedeno na odlišném místě vzorku než měření první a ve stejné fázi experimentu, za účelem získání sady hodnot pro porovnání s hodnotami z měření prvního. Hodnoty z druhého se podstatně liší od hodnot z prvního měření, což potvrzuje neuspořádanost hodnot. V ideálním případě by hodnoty obou měření měly být shodné. Příkladem nepřiměřeného rozdílu mezi hodnotami jednotlivých měření je parametr S_p , jehož hodnoty jsou vyneseny na grafu *obr. 14 a)*. Hodnota z prvního měření původního vzorku $S_p = 176\mu\text{m}$ je přibližně 9,3 krát větší než hodnota z druhého měření $S_p = 19\mu\text{m}$. Experiment tedy prokázal, že vybraná metoda neposkytuje vhodné výsledky pro hodnocení změn povrchové drsnosti hydrofobizované nanovláčkové vrstvy během pracích cyklů.

Následuje přehled grafů hodnot parametrů vzorku 2, z každé ze šesti zkoumaných skupin parametrů je vybrán jeden parametr. Modrá řada v grafech představuje hodnoty z prvního měření a červená řada představuje hodnoty z měření druhého, které jak již bylo zmíněno, bylo provedeno pouze pro původní vzorek a vzorek po 5. pracím cyklu. Graf hodnot parametru S_p ze skupiny výškových parametrů *a)*, graf hodnot parametru

Sal z prostorových parametrů *b*), graf hodnot parametru *Vv* patřícího do skupiny funkčních objemových parametrů *c*), graf hodnot parametru ze skupiny amplitudových parametrů *Sv* *d*), graf hodnot parametru *Sdc* ze skupiny prostorových a objemových parametrů *e*) a graf hodnot parametrů *FLTt* ze skupiny parametrů hladkosti *f*) jsou uvedeny na *obr. 14*.

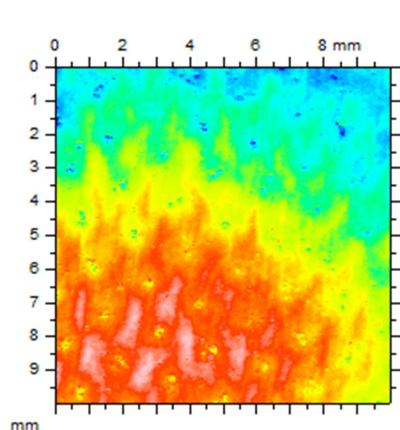


Obr. 14 Grafy hodnot parametrů povrchu vzorku 2 pro parametr *Sp* *a*), parametr *Sal* *b*), parametr *Vv* *c*), parametr *Sv* *d*), parametr *Sdc* *e*) a parametr *FLTt* *f*).

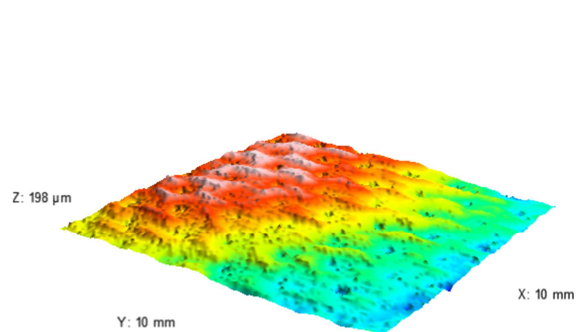
4.3 Vzorek 3 - výsledky

Následuje přehled výsledků experimentu změn povrchové drsnosti vzorku 3. Uvedené grafické výsledky reprezentují průběh experimentu povrchem původního vzorku 3 a povrchem vzorku 3 po pátém pracím cyklu. 2D původní povrch vzorku 3 a) a ve 3D b), 2D povrch vzorku 3 po pátém pracím cyklu c) a 3D povrch d) jsou zobrazeny na obr. 15. Dále série profilů původního povrchu vzorku 3 e), z důvodu zvýšení přehlednosti je uvedena série profilů z povrchu vyrovnaného metodou nejmenších čtverců, a série profilů povrchu vzorku 3 po pátém pracím cyklu f) jsou uvedeny na obr. 15.

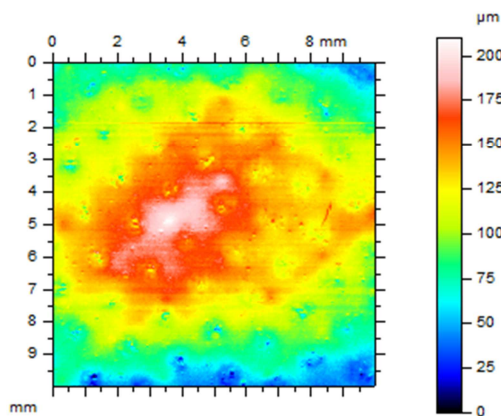
Dále jsou uvedeny tabulky 13 – 18 obsahující hodnoty vybraných parametrů povrchu vzorku 3. Těmito parametry jsou výškové parametry, prostorové parametry, funkční objemové parametry, amplitudové parametry, prostorové objemové parametry a parametry hladkosti. V tabulkách jsou uvedeny hodnoty pro všechny prací cykly. Na základě hodnot těchto parametrů bude dále provedeno vyhodnocení experimentu. Sloupce *Původní vzorek II* a 5. *Prací cyklus II* obsahují hodnoty z druhého měření, které bylo provedeno na jiném místě vzorku 3 než měření první, za účelem ověření výsledků prvního měření. Z důvodu časové náročnosti bylo druhé měření provedeno pouze na původním vzorku 3 a vzorku 3 po pátém pracím cyklu.



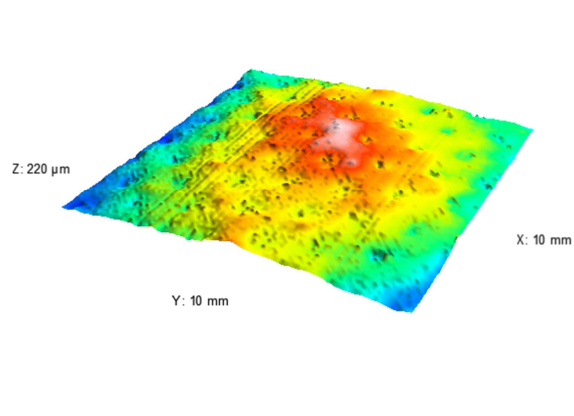
a)



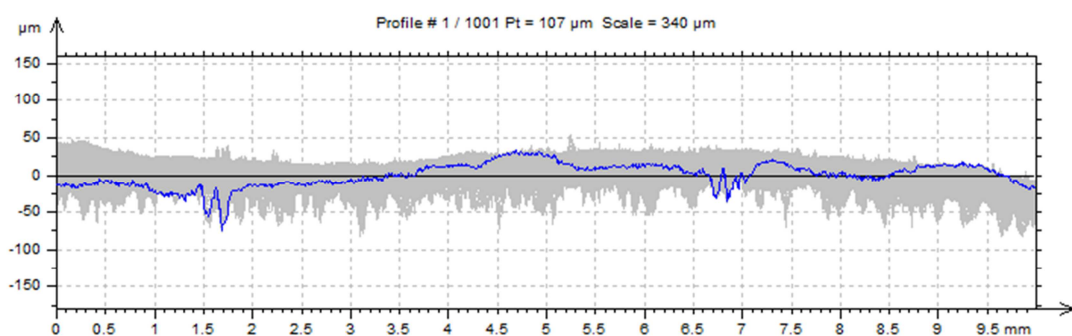
b)



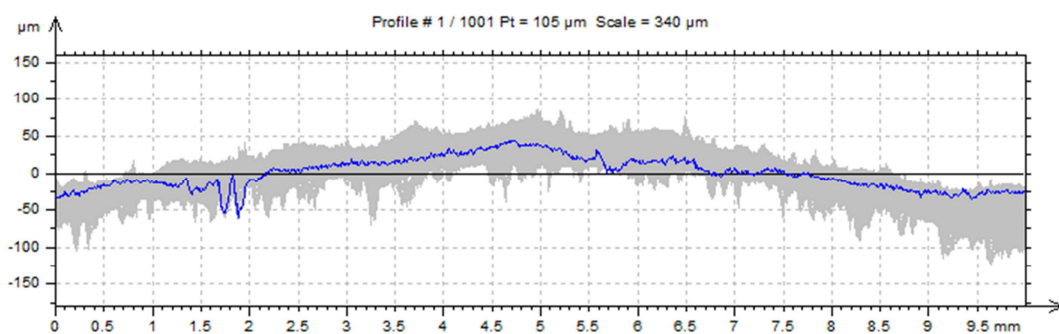
c)



d)



e)



f)

Obr. 15 Původní povrch vzorku 3 v 2D a) a ve 3D b). Povrch vzorku 3 po pátém pracím cyklu v 2D c) a ve 3D d). Série profilů povrchu původního vzorku 3, vyrovnaného metodou nejmenších čtverců e) a série profilů povrchu vzorku 3 po pátém pracím cyklu f).

Tab. 13 Hodnoty výškových parametrů (ISO 25178) pro vzorek 3.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Sq [μm]	13,7	17,2	10,8	29,5	17,6	31,7	7,31	8,49
Ssk [-]	-0,617	-0,374	-0,035	0,975	0,345	-0,184	0,764	-0,216
Sku [-]	3,72	4,15	5,03	4,44	2,55	2,08	6,62	5,33
Sp [μm]	24,3	40,4	41,5	97,5	43,7	56,4	58,7	43,4
Sv [μm]	66,9	126	62,6	72,6	58,6	100	16,2	32,4
Sz [μm]	91,2	166	104	170	102	156	75	75,8
Sa [μm]	10,6	14,2	8,01	21,1	14,3	26,9	5,48	6,06

Tab. 14 Hodnoty prostorových parametrů (ISO 25178) pro vzorek 3.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Sal [mm]	2,29	1,67	1,71	1,81	2,29	2,31	1,46	1,58
Str [-]	0,472	0,337	0,603	0,773	0,728	0,453	0,496	0,823
Std [°]	0,148	0,207	45	0,299	0,269	0	3,25	143

Tab. 15 Hodnoty funkčních a objemových parametrů (ISO 25178) pro vzorek 3.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Vm [mm^3/mm^2]	0,000312	0,000761	0,000908	0,0026	0,000771	0,000695	0,000557	0,000501
Vv [mm^3/mm^2]	0,0181	0,0212	0,0114	0,0439	0,0266	0,0428	0,00889	0,0104
Vmp [mm^3/mm^2]	0,000312	0,000761	0,000908	0,0026	0,000771	0,000695	0,000557	0,000501
Vmc [mm^3/mm^2]	0,0128	0,0161	0,00898	0,0197	0,0161	0,0344	0,00654	0,00548
Vvc [mm^3/mm^2]	0,0163	0,0197	0,0102	0,0407	0,0251	0,04	0,00819	0,00892
Vvv [mm^3/mm^2]	0,00185	0,00155	0,00123	0,00314	0,00153	0,0028	0,000695	0,00145

Tab. 16 Hodnoty amplitudových parametrů (EUR 15178N) pro vzorek 3.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Sa [μm]	10,6	14,2	8,01	21,1	14,3	26,9	5,48	6,06
Sq [μm]	13,7	17,2	10,8	29,5	17,6	31,7	7,31	8,49
Sz [μm]	*	*	*	*	*	*	*	*
Ssk [-]	-0,617	-0,374	-0,035	0,975	0,345	-0,184	0,764	-0,216
Sku [-]	3,72	4,15	5,03	4,44	2,55	2,08	6,62	5,33
Sp [μm]	24,3	40,4	41,5	97,5	43,7	56,4	58,7	43,4
Sv [μm]	66,9	126	62,6	72,6	58,6	100	16,2	32,4
St [μm]	91,2	166	104	170	102	156	75	75,8

Tab. 17 Hodnoty prostorových a objemových parametrů (EUR 15178N) pro vzorek 3.

Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
Smr [%]	1,51	0,0032	0,00102	0,102	0,168	0,791	0,000898	0,0022
Sdc [μm]	29	35,9	19,3	60,5	41,3	74,4	14,8	14,4

Tab. 18 Hodnoty parametrů hladkosti (ISO 12781) pro vzorek 3.

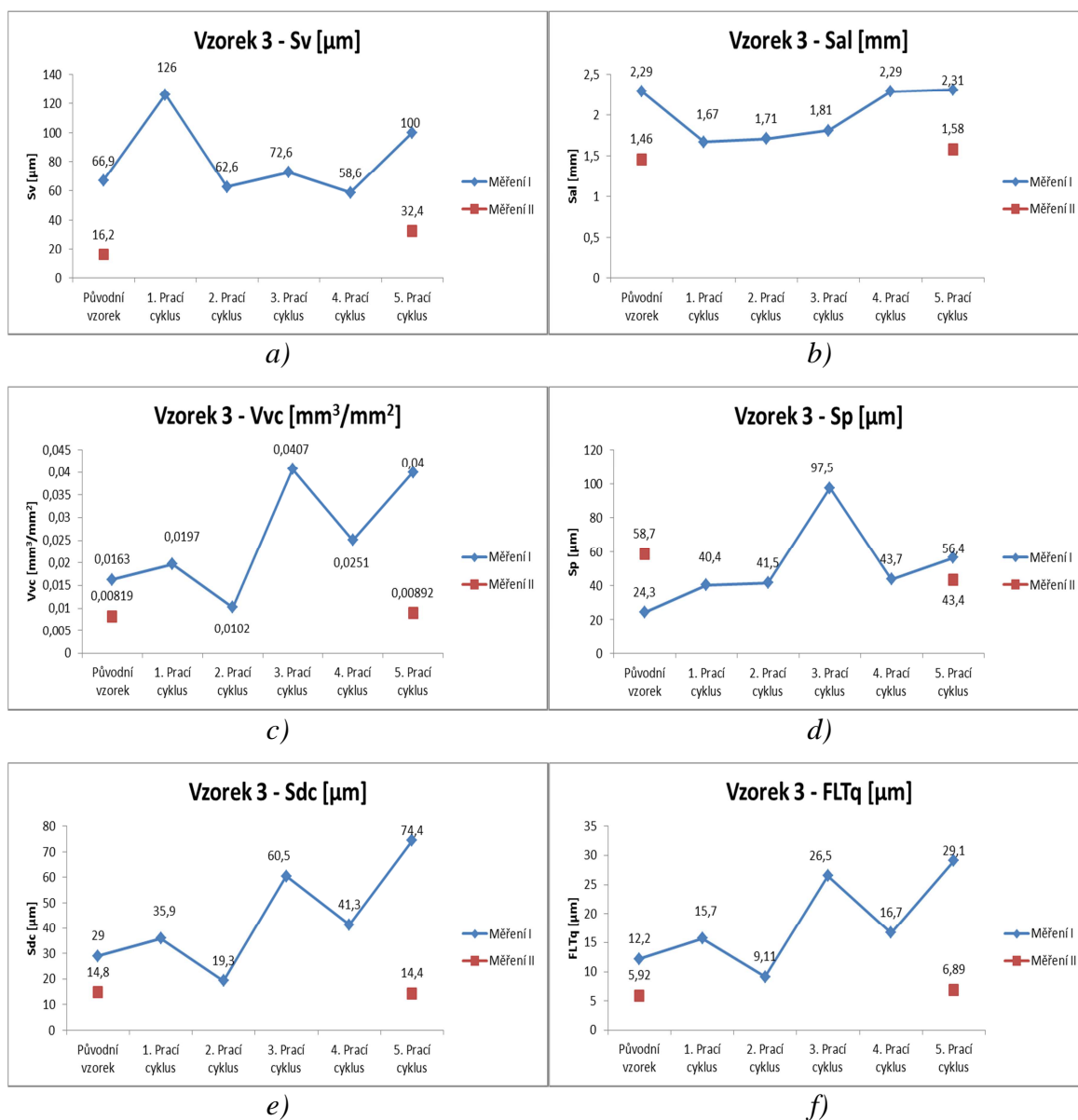
Parametr	Původní vzorek	1. prací cyklus	2. prací cyklus	3. prací cyklus	4. prací cyklus	5. prací cyklus	Původní vzorek II	5. prací cyklus II
FLTt [μm]	73,1	93,5	72,3	157	74,6	128	47,6	56,2
FLTp [μm]	24,1	37,1	32,1	94,1	42,2	56,2	32,1	30,4
FLTv [μm]	49	56,4	40,2	63,3	32,4	71,6	15,5	25,8
FLTq [μm]	12,2	15,7	9,11	26,5	16,7	29,1	5,92	6,89

4.3.1 Hodnocení výsledků povrchových charakteristik pro vzorek 3

Výsledky měření vzorku 3 se příliš neliší od výsledků předešlých vzorků, stále vykazují neuspořádané hodnoty zkoumaných parametrů a jsou nevypovídající o trendu ve změně povrchové drsnosti dvouvrstvého laminátu nanovlákněné vrstvy v závislosti na počtu pracích cyklů. Pro ověření těchto výsledků bylo opět provedeno druhé měření. Výsledky z druhého měření potvrdily výsledky prvního měření, jelikož se hodnoty druhého měření podstatně liší od hodnot měření prvního ve stejné fázi experimentu. Neuspořádanost hodnot se projevuje několika jevy, například u řady parametrů povrchu hodnoty vystupují z intervalu hodnot daného parametru, tedy číselného intervalu omezeného hodnotami prvního a posledního měření. Příkladem toho je parametr S_v , jehož hodnoty jsou vyneseny na grafu *obr. 16 a*). Hodnota 1. pracího cyklu $S_v=126\mu m$ vystupuje z intervalu hodnot tohoto parametru $<66,9\mu m; 100\mu m>$. Dalším negativním jevem v sadě hodnot jsou nepřiměřené výkyvy po sobě následujících hodnot. Tento jev je znatelný u parametru S_p s hodnotami vnesenými v grafu na *obr. 16 d*). Hodnota 3. třetího pracího cyklu $S_p=97,5\mu m$ je přibližně 2,4 krát větší než hodnota předcházející $S_p=41,5\mu m$ a zároveň přibližně 2,2 krát větší než hodnota následující $S_p=43,7\mu m$. Druhé měření bylo provedeno na odlišném místě vzorku a ve stejné fázi experimentu, aby se ověřilo, zdali zvolená metoda hodnocení povrchové drsnosti skutečně podává pouze neuspořádané hodnoty. Tento úsudek byl potvrzen, jelikož hodnoty druhého měření se podstatně liší od hodnot prvního měření. V ideálním případě by měly být hodnoty obou měření velmi podobné. Příklad rozdílů hodnot prvního a druhého měření je znatelný na parametru $FLTq$ s hodnotami vnesenými v grafu na *obr. 16 f*). Hodnota 5. pracího cyklu, prvního měření $FLTq=29,1\mu m$ je přibližně 4,2 krát větší než hodnota 5. pracího cyklu druhého měření $FLTq=6,89\mu m$. Experiment tedy prokázal, že vybraná metoda hodnocení povrchu není vypovídající o změnách povrchové drsnosti dvouvrstvého laminátu nanovlákněné vrstvy během pracích cyklů.

Následuje přehled změn hodnot vybraných parametrů, které jsou vyneseny na šesti grafech. Z každé skupiny zkoumaných parametrů byl vybrán jeden parametr. Modrá datová řada grafů představuje hodnoty z prvního měření a červená datová řada představuje hodnoty z měření druhého. Graf hodnot parametru S_v ze skupiny výškových parametrů *a*), graf hodnot parametru Sal ze skupiny prostorových parametrů *b*), graf hodnot parametru V_{vc} ze skupiny funkčních objemových parametrů *c*), graf hodnot parametru S_p ze skupiny amplitudových parametrů *d*), graf hodnot parametru S_{dc}

z dvojice prostorových objemových parametrů e) a graf hodnot parametru $FLTq$ ze skupiny parametrů hladkosti f) jsou uvedeny na *obr. 16*.



Obr. 16 Grafy hodnot vybraných parametrů naměřených na vzorku 3, parametr Sv a), parametr Sal b), parametr Vvc c), parametr Sp d), parametr Sdc e) a parametr FLTq f).

5 Závěr

Cílem této práce bylo sledovat změny povrchové drsnosti vzorků nanovláknenných vrstev při testu odolnosti materiálu v praní pomocí navržené metody. Dále se zjišťovalo, zda je vybraná metoda vhodná pro hodnocení změn povrchové drsnosti vybraných vzorků během pracích cyklů. Změny povrchové drsnosti nanovláknenné vrstvy byly sledovány pomocí přístroje TALYSURF CLI 500 a dále se hodnotily pomocí softwaru TALYMAP na základě změn hodnot povrchových charakteristik.

Pro testování efektivity dané metody byly vybrány 3 vzorky nanovláknenných vrstev s různými stupni úprav. Testování probíhalo na základě testu v odolnosti vzorků při praní. Každý vzorek byl vystaven pěti pracím cyklům. Praní probíhalo ručně, vzorky byly nořeny do vodní lázně čisticího prostředku, speciálně určeného pro údržbu nanovláknenných membrán. Povrchy vzorků byly snímány před prvním pracím cyklem a dále pak po každém pracím cyklu. Hodnocení změn povrchové drsnosti bylo prováděno na základě sledování parametrů povrchových charakteristik a jejich změn v závislosti na počtu pracích cyklů. Pro stanovení, zdali je zvolená metoda vhodná k detekci změn povrchové drsnosti nanovláknenné vrstvy, se posuzovaly hodnoty parametrů a jejich změny. Tedy zdali hodnoty udávají trend ve změně povrchové drsnosti nanovláknenné vrstvy vlivem praní či jsou neuspořádané a trend tak neudávají.

Výsledné hodnoty povrchových charakteristik z měření pro vzorek 1 byly nevypovídající a není z nich tak možné určit trend ve změně povrchové drsnosti vzorku vlivem praní. Důsledkem toho je závěr, že zvolená metoda hodnocení není vhodná k hodnocení změn povrchové drsnosti nanovláknenné vrstvy. Výsledné hodnoty povrchových charakteristik pro vzorek 2 měly podobný průběh jako u vzorku 1. Ovšem neuspořádanost hodnot jednotlivých hodnot parametrů již nebyla tak značná, u malého množství parametrů hodnoty dokonce vytvářely trend. To však představovalo nepatrnou výjimku, převážná většina parametrů vykazovala hodnoty stále neuspořádané a nevypovídající tak o trendu změny povrchové drsnosti vzorku 2 v závislosti na počtu pracích cyklů. Proto i pro vzorek 2 je závěrem, že zvolená metoda není vhodná k hodnocení změn povrchu nanovláknenné vrstvy s povrchovou úpravou. Výsledky pro vzorek 3, který byl pro cíl práce nejvýznamnější, stále vykazují nevypovídající hodnoty. U převážné většiny sledovaných parametrů jsou hodnoty stále neuspořádané a nevypovídající tak o trendu změny povrchové drsnosti vzorku 3 během praní.

V hodnotách dochází k negativním jevům pozorovaným u předešlých vzorků. Tedy dochází k výkyvům hodnot z intervalu pro danou charakteristiku a k nepřiměřeným rozdílům mezi po sobě jdoucími hodnotami. Výsledky byly ověřeny opětovným měřením pro původní vzorek a 5. prací cyklus a mezi hodnotami prvního a druhého měření docházelo k podstatným rozdílům, což potvrzuje, že hodnoty jsou nevypovídající. Z tohoto důvodu je závěr této práce následující. Hodnocení změn povrchové drsnosti na základě sledování změn povrchových charakteristik není vhodné pro hodnocení změn povrchové drsnosti nanovlákněných membrán v závislosti na počtu pracích cyklů.

6 Literatura

- [1] BUMBÁLEK, Bohumil; ODVODY, Vladimír; OŠŤÁDAL, Bohuslav. *Drsnost povrchu*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. 338 s.
- [2] MACHÁČEK, Petr; HOTMAR, Jan. *Svetoutdooru.cz* [online]. 2007. Víte, co si oblékáte? I. Dostupné z <http://www.svetoutdooru.cz/clanek/?107711-vite,-co-si-oblekate?-i>.
- [3] RŮŽIČKOVÁ, J. *Elektrostatické zvlákňování nanovláken*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004.
- [4] IN HWAN SUL, KYUNG HWA HONG, HUENSUP SHIM a TAE KANG. Surface roughness measurement of nonwovens using three-dimensional profile data. *Textile Research Journal*. 2006, č. 76.
- [5] *Michigan Metrology* [online]. 2010 [cit. 2011-12-10]. 3D S Parameters - Height (Amplitude) Parameters. Dostupné z http://www.michmet.com/3d_s_height_parameters.htm.
- [6] Sport-Wash®. *Gentiana* [online]. 2009 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.gentiana.eu/praci-pripravky/sport-wash>.
- [7] MILITKÝ, Jiří a Miroslav MAZAL. Image analysis method of surface roughness evaluation. *International Journal of Clothing Science and Technology* [online]. 2007, roč. 19, 3/4, s. 186-193 [cit. 2012-04-28]. ISSN 0955-6222. DOI: 10.1108/09556220710741650. Dostupné z: <http://www.emeraldinsight.com/10.1108/09556220710741650>.
- [8] Talysurf CLI. In: *Imeco TH* [online]. 2005 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: http://www.imeco-th.cz/imeco_th_cz_5.htm
- [9] ING. NOVÁK, Zdeněk. PROSTOROVÉ MĚŘENÍ A HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU PŘÍSTROJI TAYLOR HOBSON Ltd. In: *Kvalita a Geometrické specifikace produktů* [online]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2_Novak_3D_mereni_textury.pdf
- [10] ISO 25178. *Geometric Product Specifications (GPS) – Surface texture: areal*. 2001.

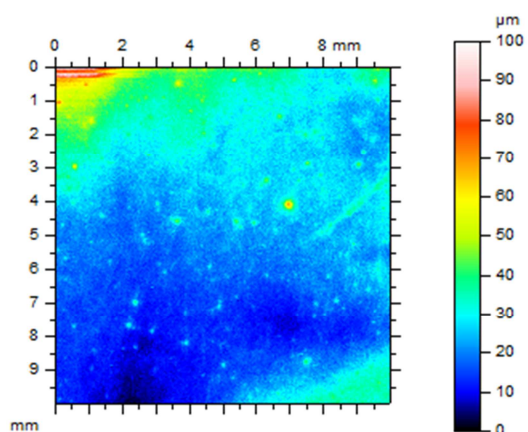
[11] EUR 15178N. *The Development of Methods for the Characterisation of Roughness in Three Dimensions*. 1993.

[12] ISO 12781-1. *Geometrical Product Specifications (GPS) -- Flatness -- Part 1: Vocabulary and parameters of flatness*. 2011.

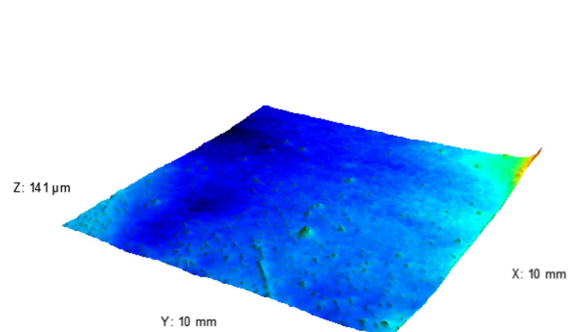
Seznam příloh

- I. 2D a 3D povrchy zkoumaných vzorků
- II. Série profilů povrchů zkoumaných vzorků

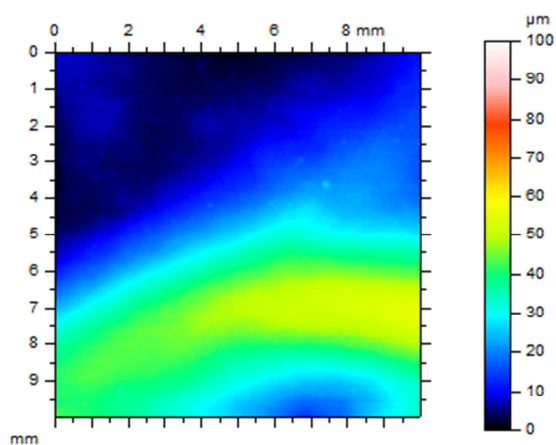
Příloha I. – 2D a 3D povrchy zkoumaných vzorků



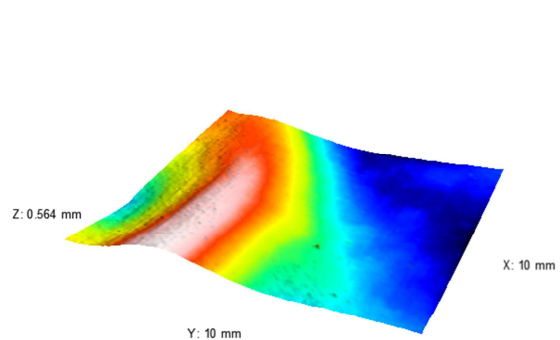
Vzorek 1 – 1. prací cyklus, 2D povrch.



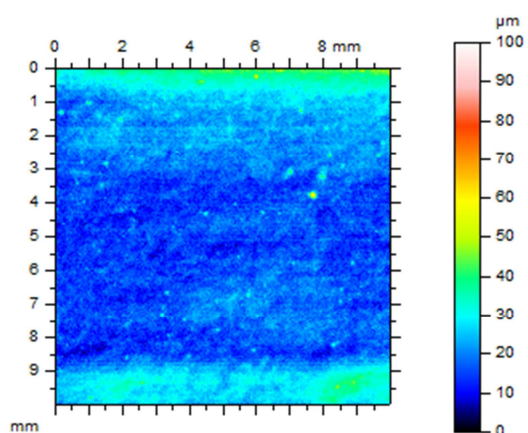
Vzorek 1 – 1. prací cyklus, 3D povrch.



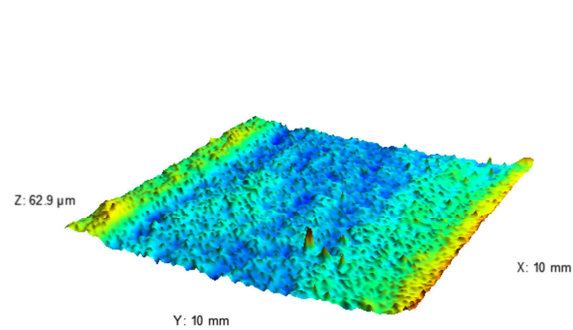
Vzorek 1 – 2. prací cyklus, 2D povrch.



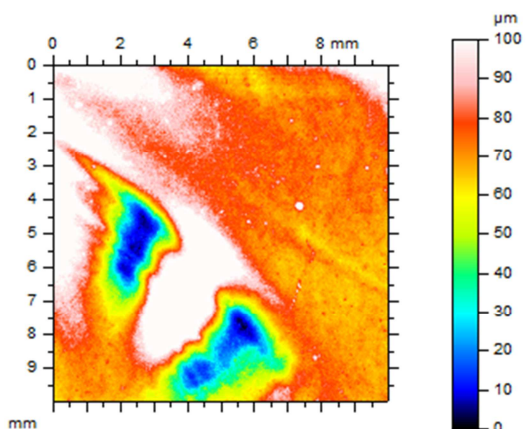
Vzorek 1 – 2. prací cyklus, 3D povrch.



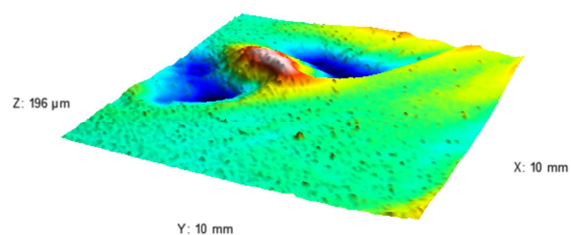
Vzorek 1 – 3. prací cyklus, 2D povrch.



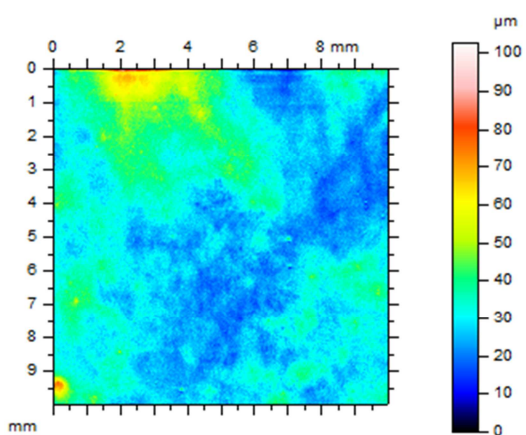
Vzorek 1 – 3. prací cyklus, 3D povrch.



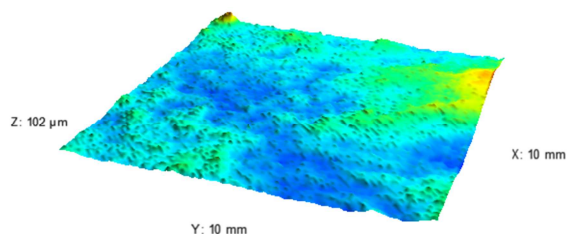
Vzorek 1 – 4. prací cyklus, 2D povrch.



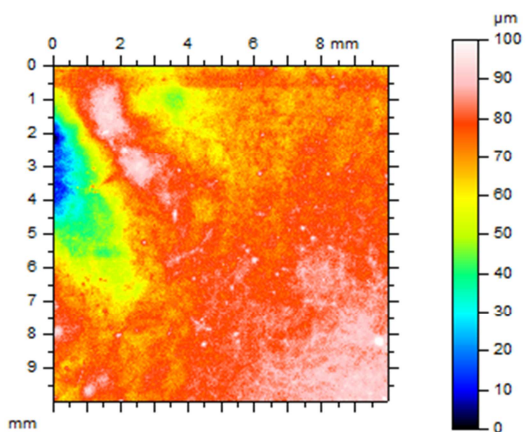
Vzorek 1 – 4. prací cyklus, 3D povrch.



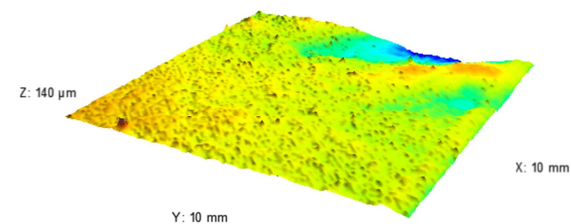
Vzorek 1 – měření II, původní 2D povrch.



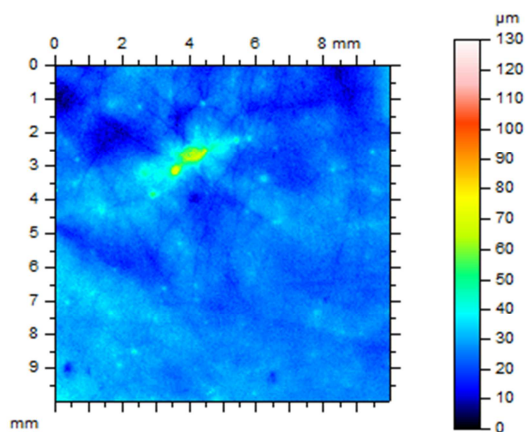
Vzorek 1 – měření II, původní 3D povrch.



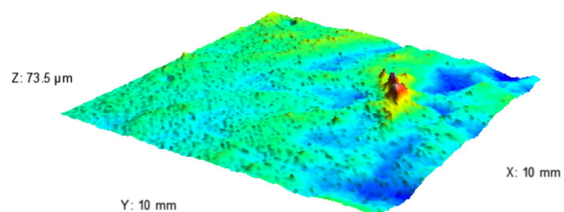
Vzorek 1 – měření II, 5. prací cyklus, 2D povrch.



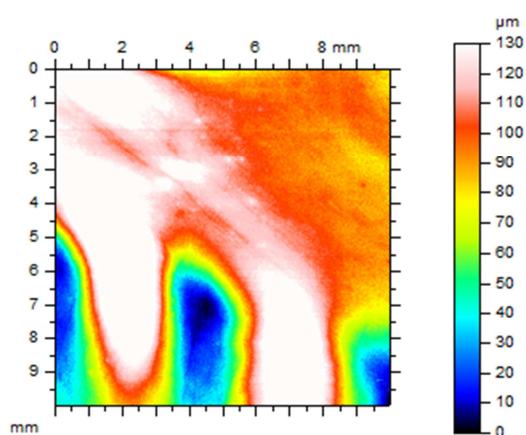
Vzorek 1 – měření II, 5. prací cyklus, 3D povrch.



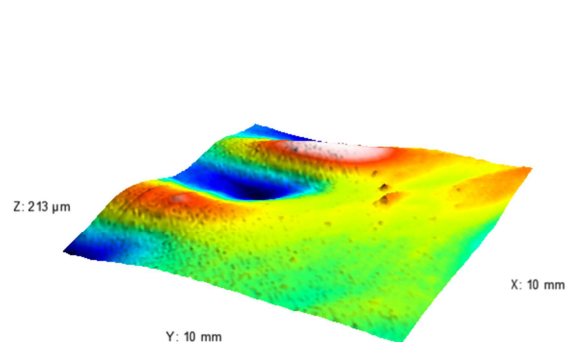
Vzorek 2 – 1. prací cyklus, 2D povrch.



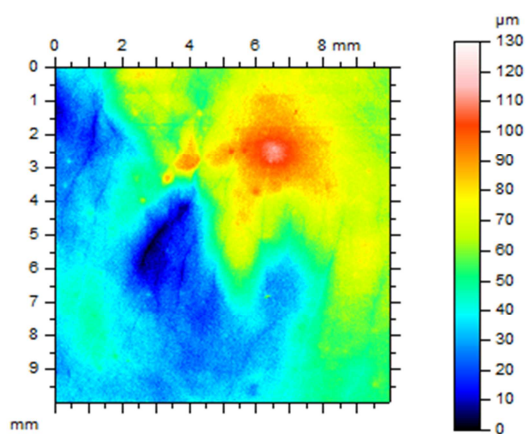
Vzorek 2 – 1. prací cyklus, 3D povrch.



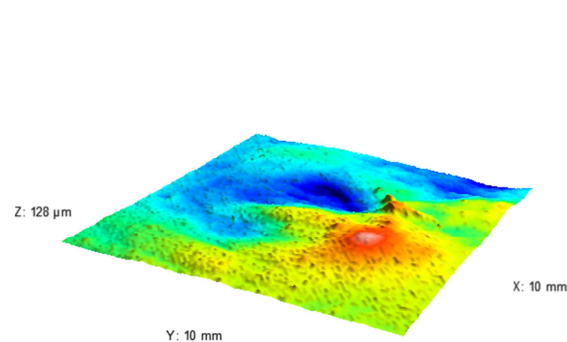
Vzorek 2 – 2. prací cyklus, 2D povrch.



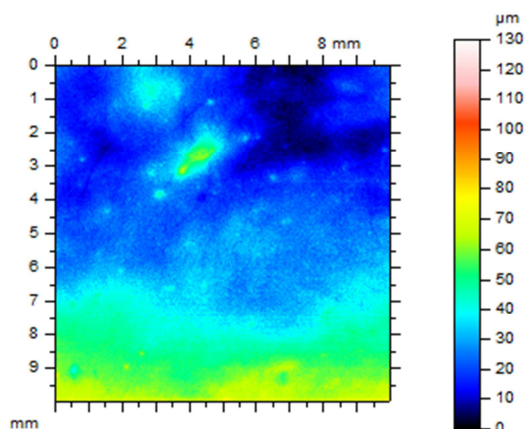
Vzorek 2 – 2. prací cyklus, 3D povrch.



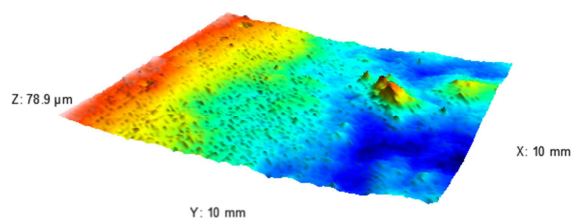
Vzorek 2 – 3. prací cyklus, 2D povrch.



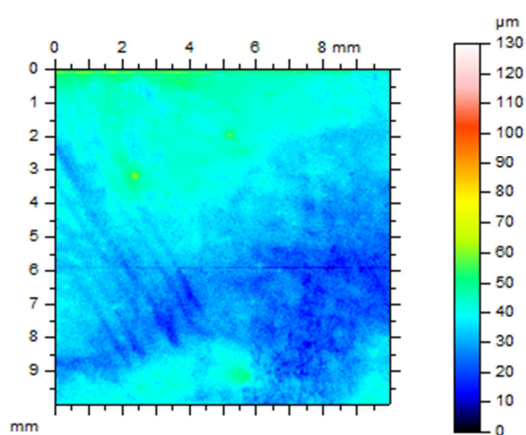
Vzorek 2 – 3. prací cyklus, 3D povrch.



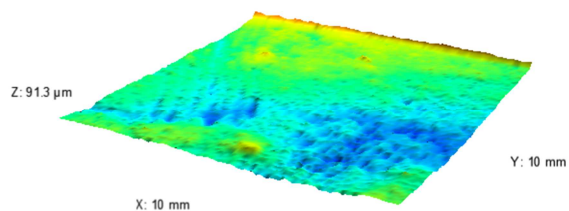
Vzorek 2 – 4. prací cyklus, 2D povrch.



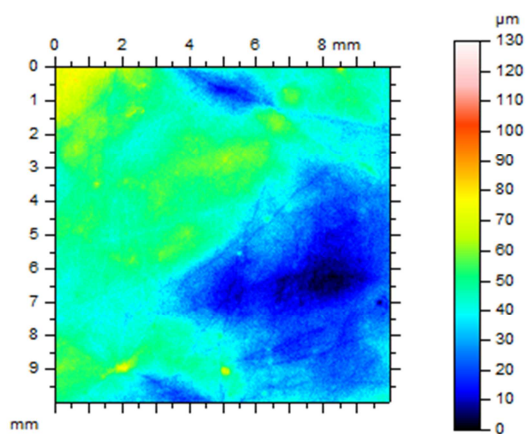
Vzorek 2 – 4. prací cyklus, 3D povrch.



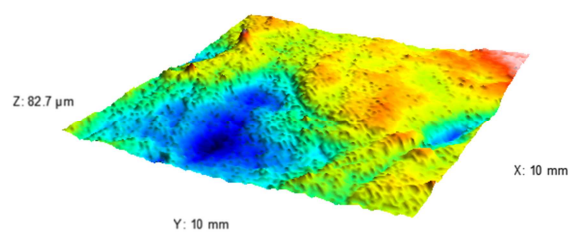
Vzorek 2 – měření II, původní 2D povrch.



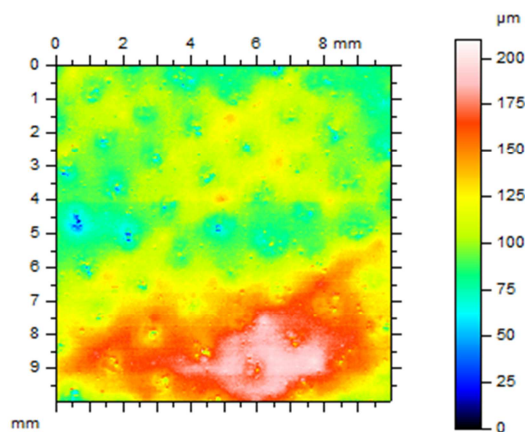
Vzorek 2 – měření II, původní 3D povrch.



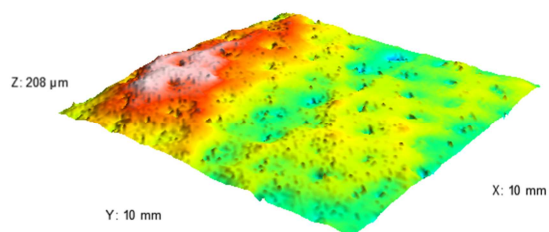
Vzorek 2 – měření II, 5. prací cyklus, 2D povrch.



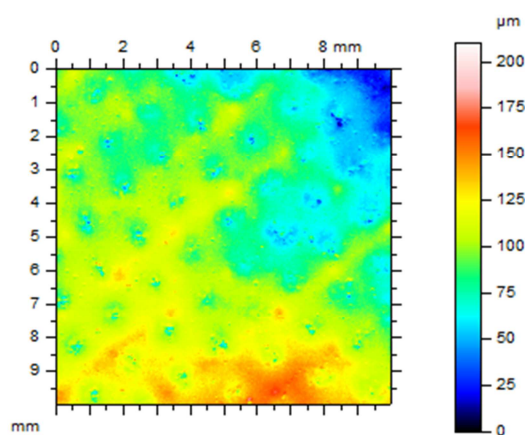
Vzorek 2 – měření II, 5. prací cyklus, 3D povrch.



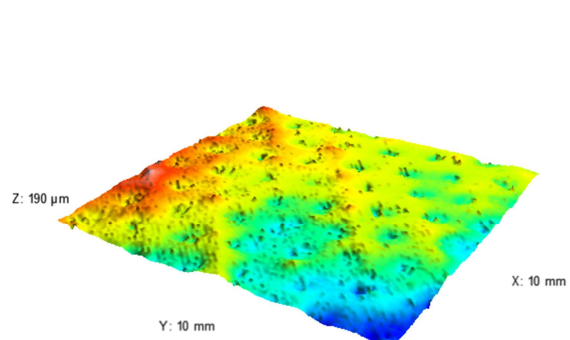
Vzorek 3 – 1. prací cyklus, 2D povrch.



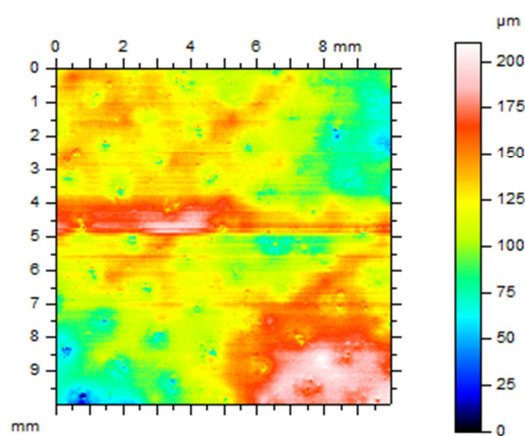
Vzorek 3 – 1. prací cyklus, 3D povrch.



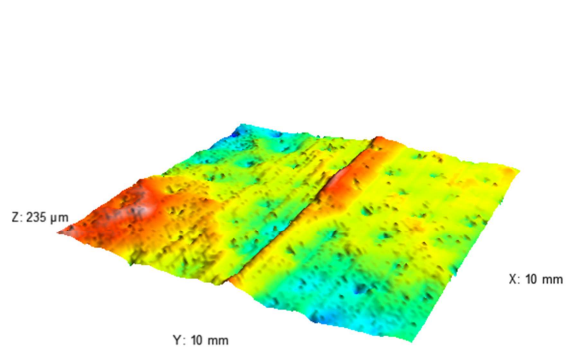
Vzorek 3 – 2. prací cyklus, 2D povrch.



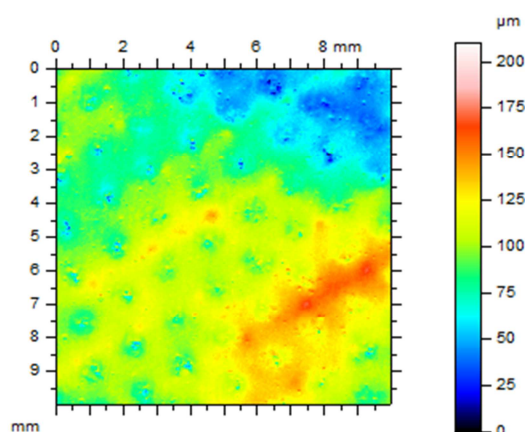
Vzorek 3 – 2. prací cyklus, 3D povrch.



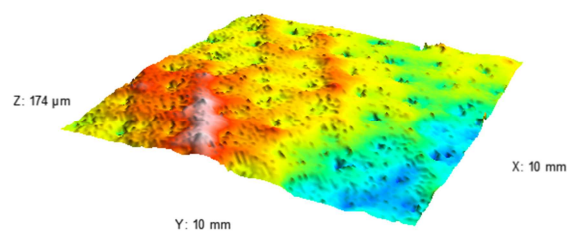
Vzorek 3 – 3. prací cyklus, 2D povrch.



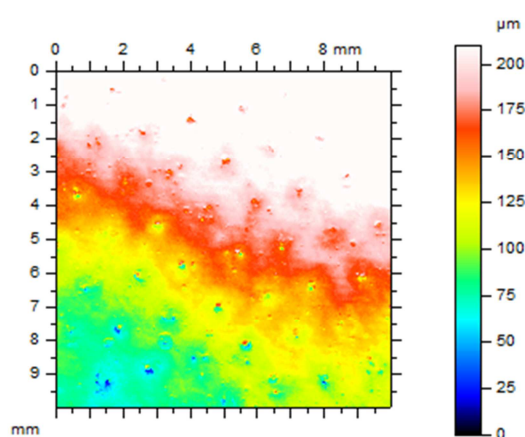
Vzorek 3 – 3. prací cyklus, 3D povrch.



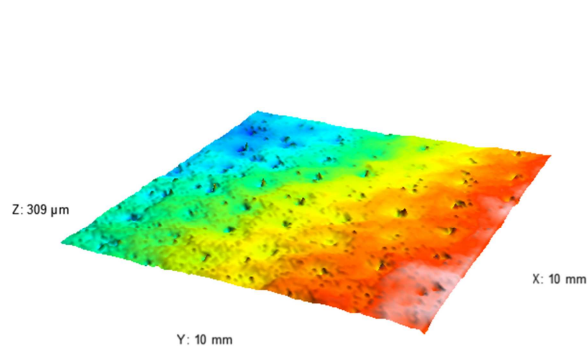
Vzorek 3 – 4. prací cyklus, 2D povrch.



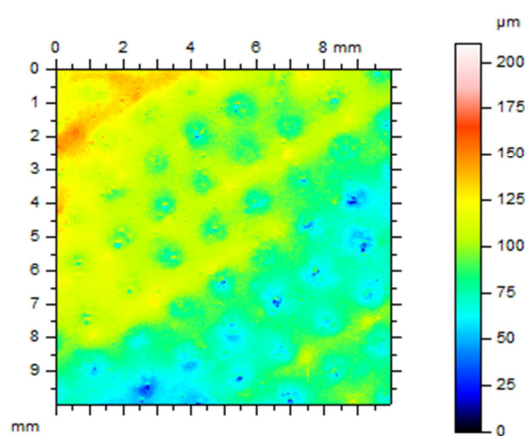
Vzorek 3 – 4. prací cyklus, 3D povrch.



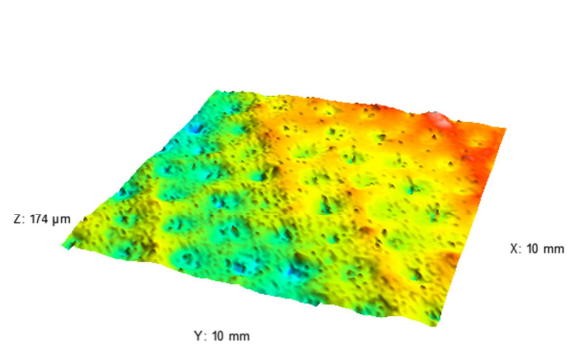
Vzorek 3 – měření II, původní 2D povrch.



Vzorek 3 – měření II, původní 3D povrch.

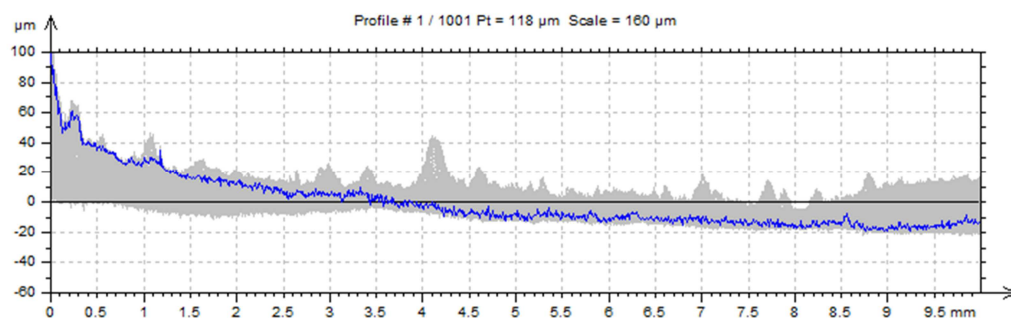


Vzorek 3 – měření II, 5. prací cyklus, 2D povrch.

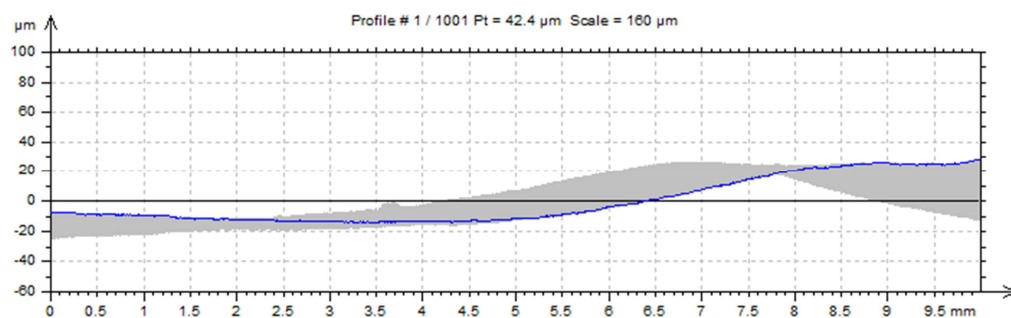


Vzorek 3 – měření II, 5. prací cyklus, 3D povrch.

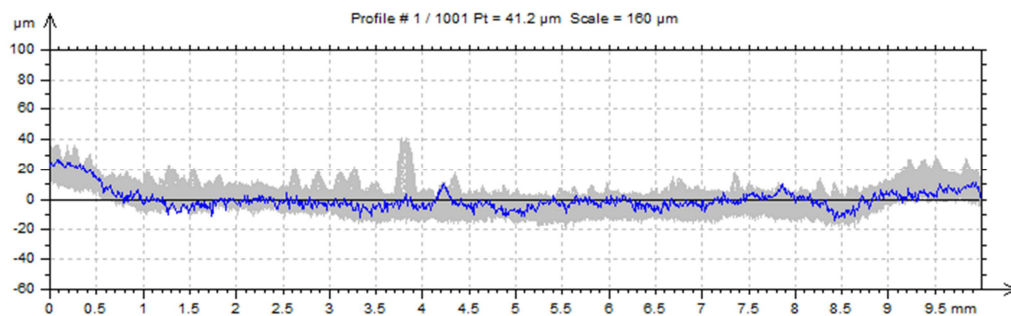
Příloha II. Série profilů povrchů zkoumaných vzorků



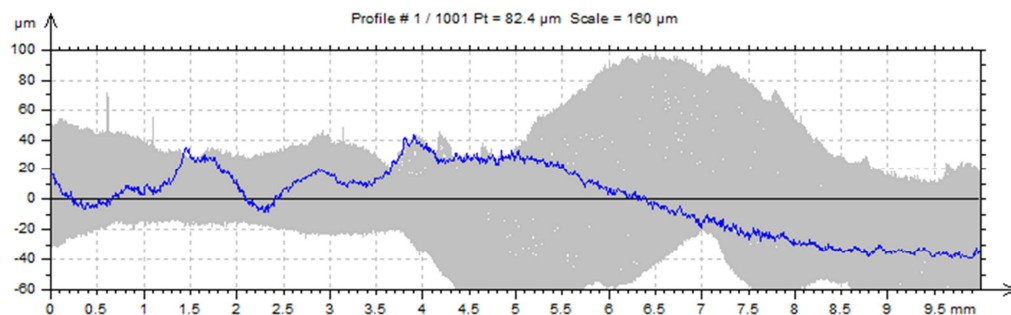
Vzorek 1 – série profilů povrchu, 1. prací cyklus.



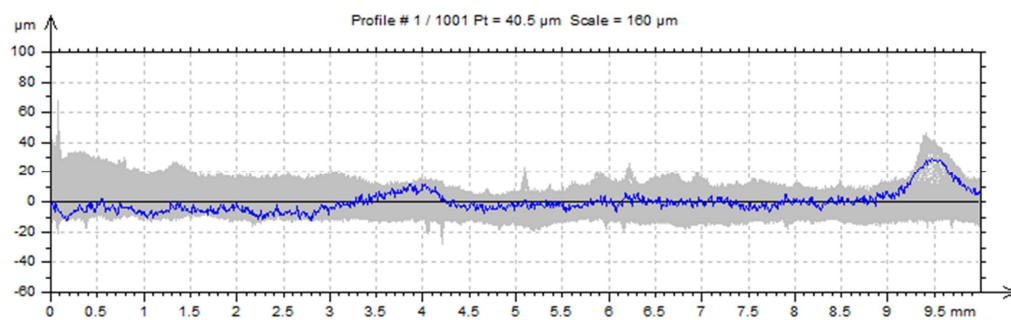
Vzorek 1 – série profilů povrchu, 2. prací cyklus.



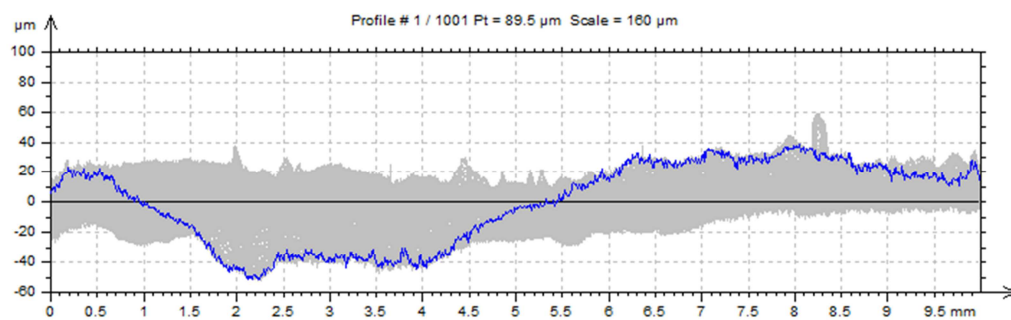
Vzorek 1 – série profilů povrchu, 3. prací cyklus.



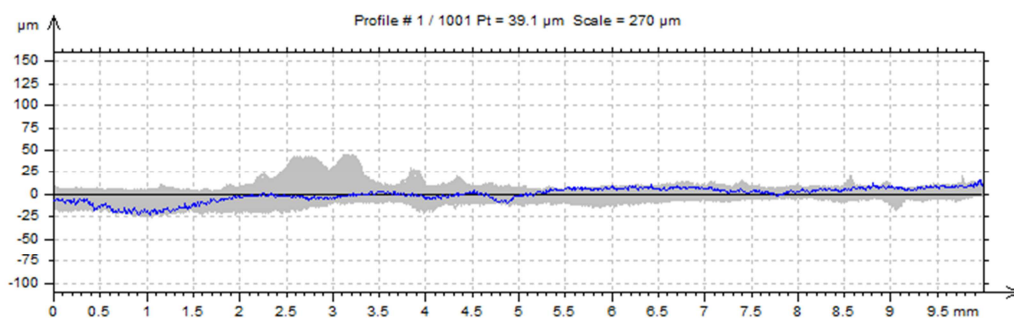
Vzorek 1 – série profilů povrchu, 4. prací cyklus.



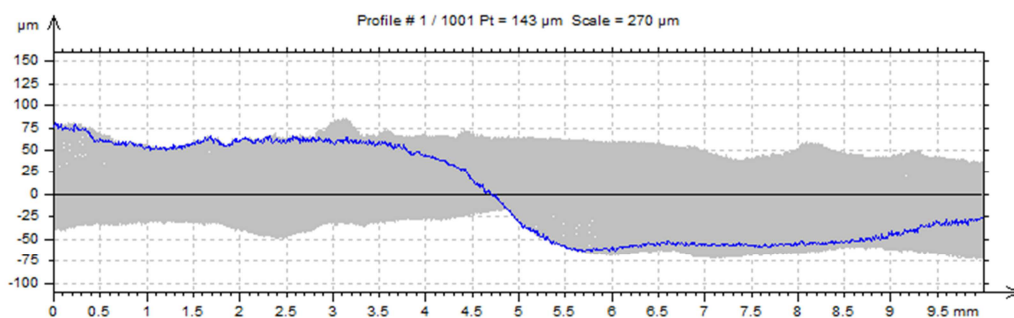
Vzorek 1 – série profilů povrchu, měření II, původní povrch.



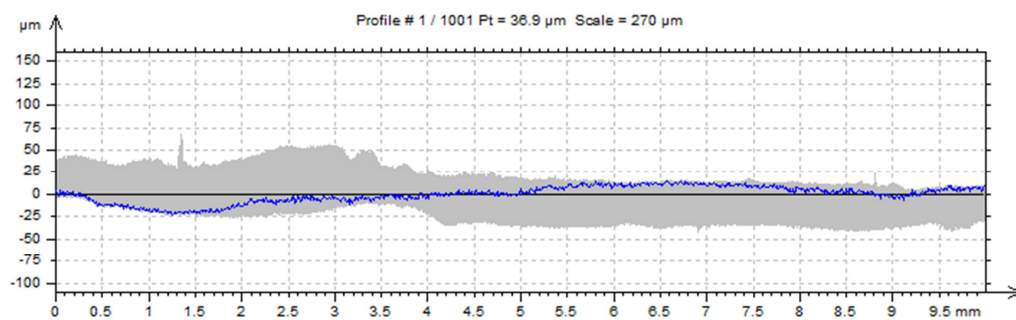
Vzorek 1 – série profilů povrchu, měření II, 5. prací cyklus.



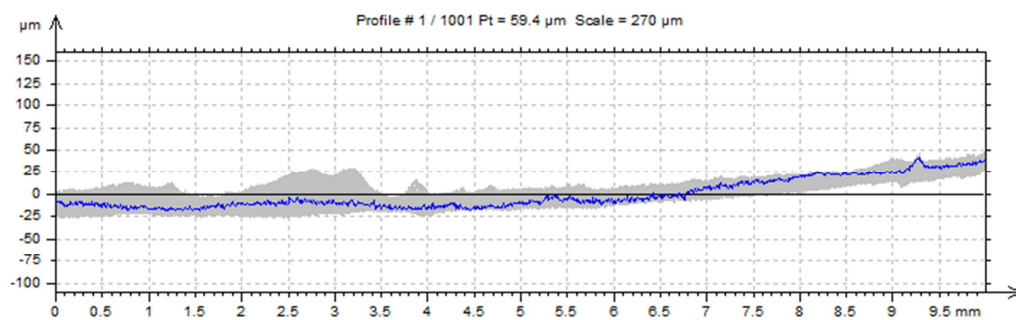
Vzorek 2 – série profilů povrchu, 1. prací cyklus.



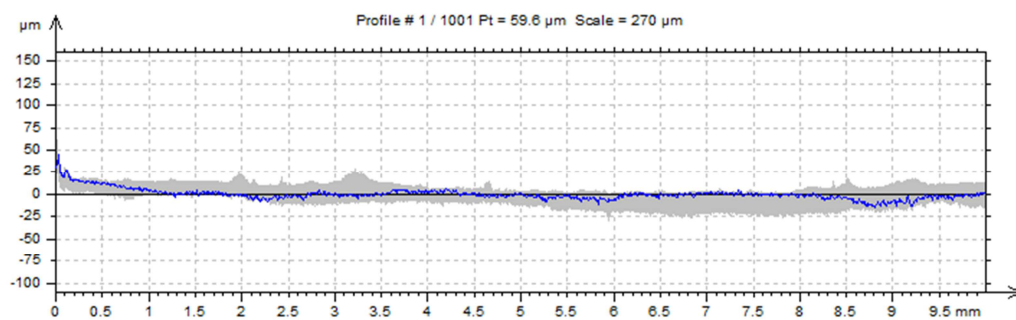
Vzorek 2 – série profilů povrchu, 2. prací cyklus.



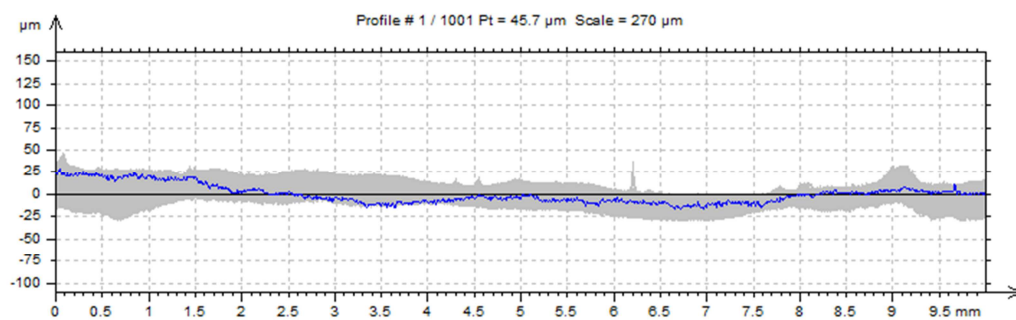
Vzorek 2 – série profilů povrchu, 3. prací cyklus.



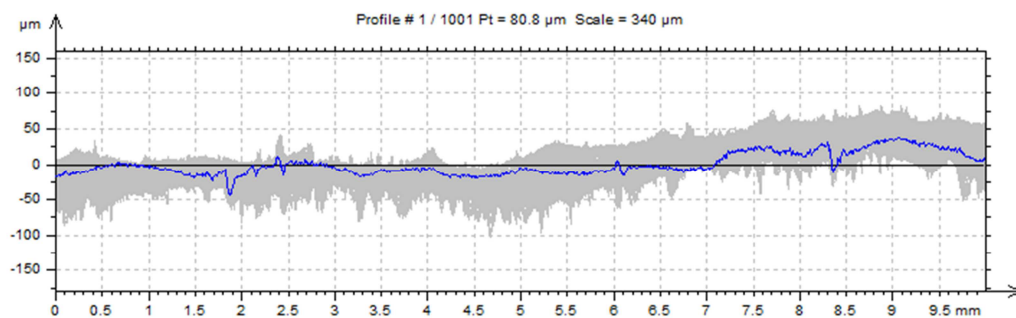
Vzorek 2 – série profilů povrchu, 4. prací cyklus.



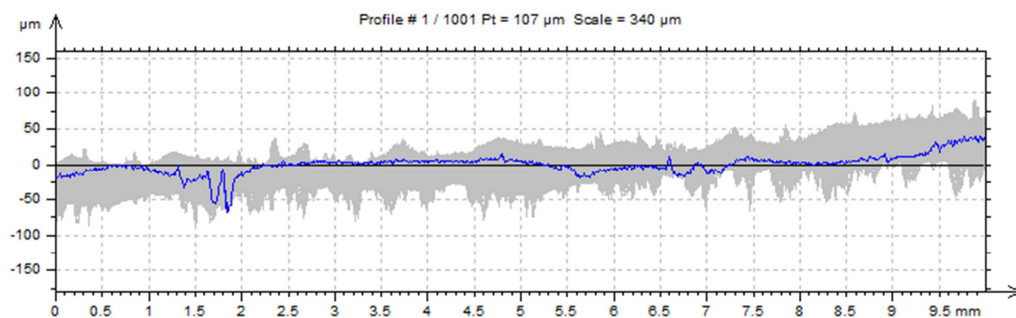
Vzorek 2 – série profilů povrchu, měření II, původní povrch.



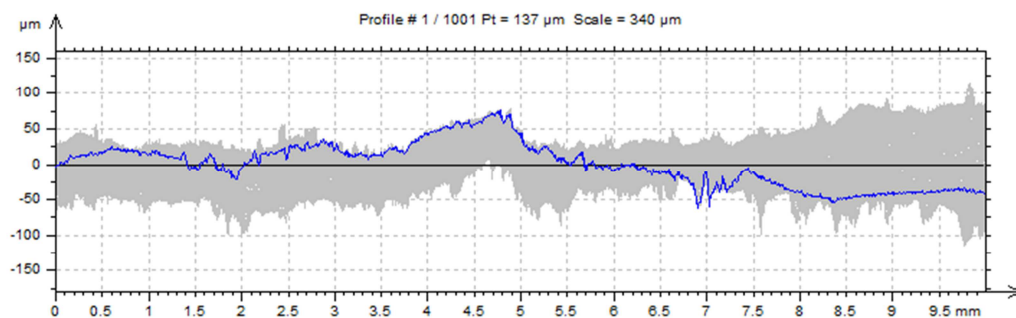
Vzorek 2 – série profilů povrchu, měření II, 5. prací cyklus.



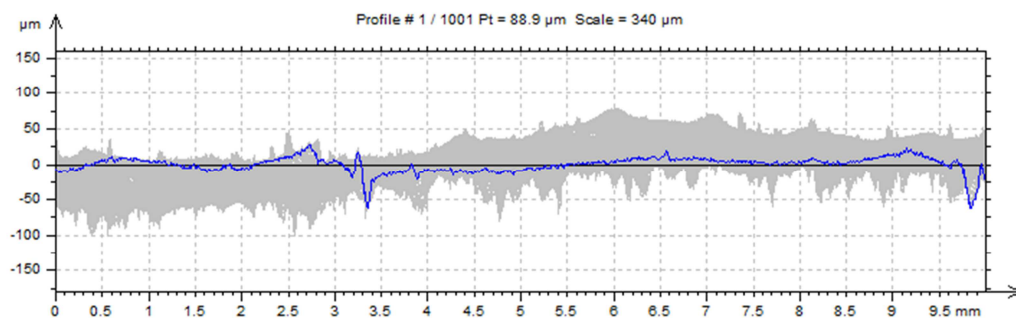
Vzorek 3 – série profilů povrchu, 1. prací cyklus.



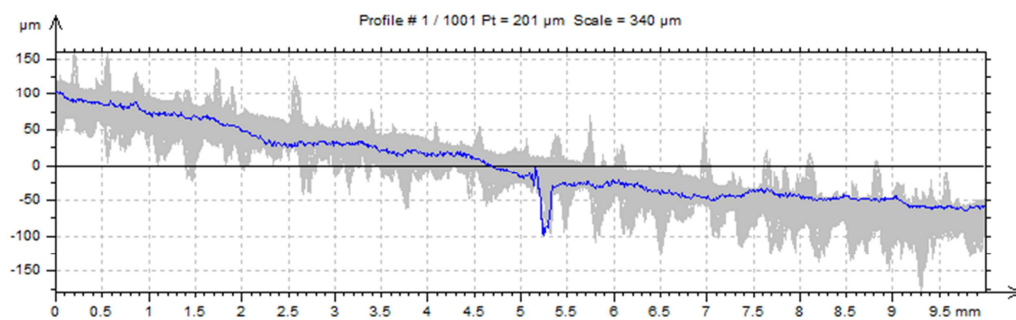
Vzorek 3 – série profilů povrchu, 2. prací cyklus.



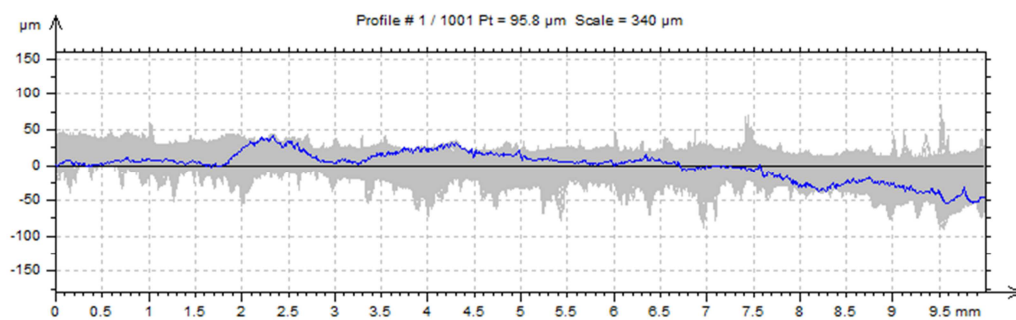
Vzorek 3 – série profilů povrchu, 3. prací cyklus.



Vzorek 3 – série profilů povrchu, 4. prací cyklus.



Vzorek 3 – série profilů povrchu, měření II, původní povrch.



Vzorek 3 – série profilů povrchu, měření II, 5. prací cyklus.